

Grado Universitario en Ingeniería Mecánica
2016-2017

Trabajo Fin de Grado

“Cálculo del comportamiento de una escalera con ascensor”

Juan Carlos Sánchez Galindo

Tutor/es

Alejandro Quesada González

14 de junio de 2017 en Leganés



Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**

Tabla de contenido

Índice de figuras	3
1. Introducción.....	5
2. Objetivo	6
3. Estado del arte	7
<i>Software de CAD: PTC Creo Parametric</i>	<i>7</i>
<i>Software de CAE: ANSYS®</i>	<i>8</i>
<i>CTE: Código técnico de la edificación</i>	<i>9</i>
Seguridad estructural	9
Acciones en la edificación.....	9
4. Modelado.....	10
<i>Definición de la geometría</i>	<i>10</i>
Keypoint.....	12
Líneas	14
Áreas	15
Otras funciones.....	19
Copiar	19
Mover	20
Girar.....	20
Divide.....	20
Medir	23
Eliminar duplicados	23
<i>Pre-Mallado</i>	<i>23</i>
Tipo de elemento.....	23
Material	25
Sección	29
<i>Mallado</i>	<i>30</i>
<i>Cargas</i>	<i>35</i>
Peso propio.....	35
Sobrecarga de uso	35
Viento y nieve	36
Peso del recubrimiento.....	37
Coeficientes de seguridad.....	37
<i>Carga total</i>	<i>38</i>
<i>Áreas y aplicación de las cargas en ANSYS®</i>	<i>38</i>
<i>Restricciones al movimiento.....</i>	<i>40</i>
5. Solución.....	43
6. Conclusión.....	50
7. Presupuesto	51

8. Futuros proyectos.....	52
<i>Estudio de anclajes.....</i>	<i>52</i>
<i>Estudio para el ascensor y su subestructura portante</i>	<i>52</i>
<i>Fabricación.....</i>	<i>52</i>
<i>Instalación y mantenimiento.....</i>	<i>52</i>
9. Bibliografía	53

Índice de figuras

Figura 1 - Modelo original	10
Figura 2 - Estructura de planta baja	11
Figura 3 - Crear Keypoint.....	12
Figura 4 - Introducir coordenadas.....	13
Figura 5 - Keypoints.....	13
Figura 6 - Crear línea	14
Figura 7 - Líneas.....	15
Figura 8 - Crear área (II).....	16
Figura 9 - Crear área (I).....	16
Figura 10 – Áreas.....	17
Figura 11 - Áreas de planta baja.....	18
Figura 12 - Unión modelo real.....	18
Figura 13 - Unión modelado en ANSYS®	19
Figura 14 - Comando "Divide"	20
Figura 15 - Working Plane	21
Figura 16 - Display Working Plane.....	22
Figura 17 - Añadir Elemento.....	24
Figura 18 - Shell 3D 4node 181	24
Figura 19 - Propiedades del acero S275.....	25
Figura 20 - Asignar material	25
Figura 21 - Material elástico lineal isótropo.....	26
Figura 22 - Introducir propiedades del material	26
Figura 23 - Densidad.....	27
Figura 24 - Coeficientes parciales de seguridad SE (página 11)	28
Figura 25 - Introducir densidad	28
Figura 26 - Sección	29
Figura 27 - Crear sección Shell	30
Figura 28 - Asignar sección.....	31
Figura 29 - Introducir atributos del área	32
Figura 30 - Mesh Tools	32
Figura 31 - Menú "Mesh Tool"	33
Figura 32 - Ejemplo de zona que determinará el mallado	34
Figura 33 - Introducir tamaño de elemento.....	34
Figura 34 - Mallado	35
Figura 35 - Valores característicos de las sobrecargas de uso	36
Figura 36 - Peso por unidad de superficie de elementos de pavimentación.....	37
Figura 37 - Tabla de cargas.....	38
Figura 38 - Introducir valores de carga	39
Figura 39 - Cargas aplicadas	39
Figura 40 - Seleccionar movimientos a restringir.....	40
Figura 41 - Restricciones a forjado	41
Figura 42 - Restricciones a subestructura para el ascensor	42
Figura 43 - Cargas y restricciones aplicadas.....	43

Figura 44 - Ejecutar solución	44
Figura 45 - Ventana de selección del parámetro de visualización	44
Figura 46 - Tensión de Von Mises	45
Figura 47 - Coeficientes de seguridad para el acero	45
Figura 48 - Zoom en zona crítica	46
Figura 49 - Cambio de ancho del escalón.....	47
Figura 50 - Tensión de Von Mises con apoyo en pilar (I)	48
Figura 51 - Tensión de Von Mises con apoyo en pilar (II)	49
Figura 52 - Extracto del listado de cargas por nodo.....	49

1. Introducción

Este proyecto nace de la necesidad de reforma de un edificio antiguo, la obra consiste en el remplazo de la escalera original por un ascensor que cuente con una nueva estructura de escalera como método alternativo de subida.

La empresa encargada de la ejecución no dispone de las herramientas suficientes para realizar los cálculos justificativos que validen el diseño, externalizando la tarea de análisis.

El informe recoge el análisis de esta estructura de acero, así como las hipótesis realizadas para su cálculo.

2. Objetivo

Estudio del comportamiento mecánico de una estructura de acero a partir de un modelo diseñado por un fabricante de escaleras.

- Justificar a través de cálculos el cumplimiento del diseño con los criterios de resistencia establecidos por la normativa actual existente.
- Asesorar al cliente, en caso de detectar defectos, para que pueda garantizar la aptitud del diseño con las modificaciones necesarias.

Se realizará el estudio técnico con el software ANSYS® en base a la geometría definida por el fabricante empleando como material de la estructura acero S275 y como recubrimiento de la escalera baldosa.

3. Estado del arte

El mercado del software, en la actualidad, ofrece una amplia gama de herramientas para el cálculo estructural y el modelado en tres dimensiones.

Sin este apoyo tecnológico la complejidad del estudio aumentaría de tal modo que no se podría asegurar la precisión de los resultados en las zonas más complejas de la estructura.

Además; el ámbito normativo nacional, establece los requisitos mínimos de seguridad que debe garantizar una estructura.

Para la correcta comprensión del análisis realizado, es imprescindible hacer un recorrido por los distintos softwares y documentos con los que se ha trabajado.

Software de CAD: PTC Creo Parametric

Los softwares de diseño asistido por ordenador, conocidos por sus siglas en inglés CAD, son aquellos programas informáticos que permiten al usuario construir una representación gráfica en dos o tres dimensiones. Se utiliza para diseñar productos en una amplia gama de aplicaciones, desde la idea conceptual hasta la definición del detalle.

Estas herramientas han favorecido a minimizar costes económicos y a acortar plazos en las fases iniciales de creación de los productos, aumentando así la productividad y acercando el mercado a la filosofía “Just in time”.

Una de las grandes ventajas del CAD es la rápida detección de errores geométricos o de ensamblaje de piezas. Estos programas permiten crear conjuntos y subconjuntos de piezas en un mismo modelo dónde se hace sencillo detectar posibles fallos de conexión entre piezas reduciendo así la necesidad de fabricación de prototipos físicos.

El software de CAD empleado para este proyecto es el Creo Parametric, antes conocido como Pro Engineer, la elección de este producto viene marcada por ser el utilizado por el cliente para el modelado del diseño, utilizando el mismo software se evitan problemas de compatibilidad (1).

Software de CAE: ANSYS®

Los softwares de ingeniería asistida por ordenador, conocidos por sus siglas en inglés CAE, son aquellos programas diseñados para realizar simulaciones del rendimiento de un producto sometido a una serie de cargas o acciones.

El proceso ingenieril típico en el uso de estos programas comprende los siguientes pasos:

- Definición de la geometría: Se debe crear la representación geométrica del producto.
- Asignar el material al modelo: Una vez esta la geometría definida se le otorgan las propiedades intrínsecas del material que la constituye.
- Definición del entorno: Cargas, condiciones de contorno...En este paso, se incorporan todos los elementos que, aunque ajenos al producto, afectan a su comportamiento.
- Resolución del problema: el modelo se resuelve utilizando una formulación matemática apropiada de la física subyacente.
- Visualización de los resultados: Es labor del ingeniero validar y comprobar los resultados que presenta el programa como solución.

A lo largo de este estudio, se corroborará que estos han sido los pasos que se han llevado a cabo para su elaboración.

Al igual que ocurría con los softwares de diseño asistido por ordenador (CAD), el gran beneficio que ha traído la invención de este tipo de programas informáticos es la reducción de prototipos físicos para ensayar y la consiguiente reducción de costes. Además del aumento de precisión en los resultados, en ocasiones es difícil recrear las condiciones a las que estará sometido el diseño en la realidad en un laboratorio de ensayos.

Como software de CAE se ha utilizado el denominado ANSYS®, este es un programa que realiza sus análisis a través del método de elementos finitos.

El método de elementos finitos está basado en la división de una geometría compleja en elementos regulares, más sencillos de calcular, de los que se extraen los resultados (2).

CTE: Código técnico de la edificación

El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE) (3).

De este documento legislativo sólo nos afectan dos de sus apartados:

Seguridad estructural

Detalla los criterios que debe seguir el diseño de toda estructura para no comprometer su aptitud al servicio.

Acciones en la edificación

Detalla las cargas que se deben suponer, incluyendo coeficientes de seguridad, que actúen en la estructura para garantizar su funcionabilidad aún en las situaciones más comprometidas.

4. Modelado

Definición de la geometría

Como punto inicial se debe modelizar la estructura de la escalera diseñada por el cliente en el software ANSYS® para su posterior análisis.

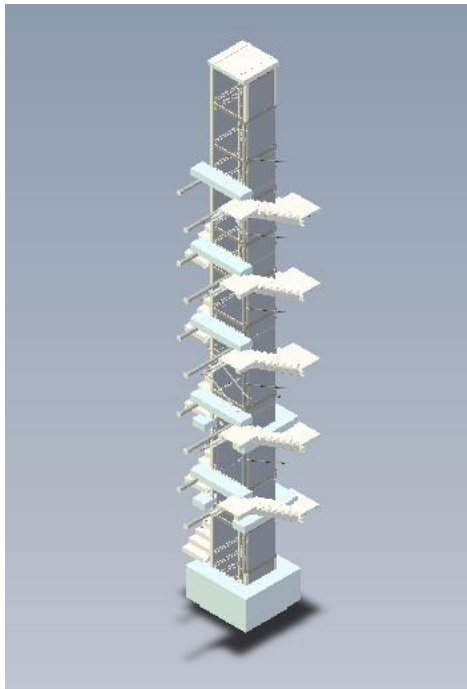


Figura 1 - Modelo original

Dado que no es conveniente importar un modelo en CAD al programa, ya que arrastras todos los posibles errores que existan, se necesita crear desde cero la geometría respetando las medidas originales (Figura 1).

Es imprescindible conocer las pautas principales por las que se rige el software para poder modelizar fielmente el diseño.

ANSYS® es un programa de elementos finitos, cómo ya se explicó, trabaja simplificando la geometría en elementos regulares más pequeños a través del mallado; el objetivo del modelado es, siendo consecuentes con esta premisa, desarrollar una estructura que permita ser mallada. La unidad de superficie más simple que se puede mallar es el área, con esto claro; el primer destino en el camino del análisis será modelar las áreas que componen la estructura.

Una de las técnicas que ofrece ANSYS® para crear áreas es mediante líneas. Un área es una unidad de superficie encerrada por un conjunto de líneas, con esta definición presente resulta obvio que si se disponen las líneas clave se podrá dar forma a las áreas.

En la escalera planteada, los cinco tramos que componen el diseño son idénticos a excepción del perteneciente a la planta baja que consta de una subida más. Lo óptimo es modelar este tramo y una vez completo clonarlo obviando los elementos no necesarios en el resto de plantas (Figura 2).

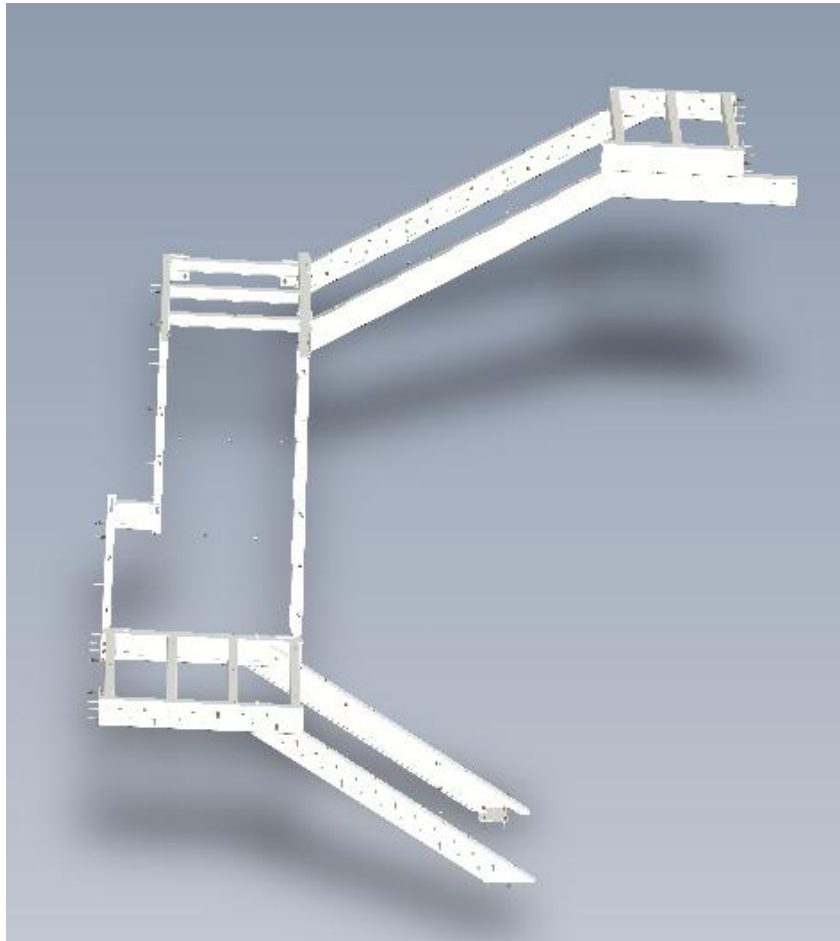


Figura 2 - Estructura de planta baja

Antes de enfrascarse en el trazado de líneas se debe tomar la precaución de la toma precisa de medidas. En el programa de cálculo se va a construir una geometría de elementos planos sin espesor provocando que no conecten elementos cuando se pretenda ensamblar las piezas que se vayan creando o que no acumulen la longitud real pretendida. El espesor se incluirá como característica, se detallará en una sección posterior.

Se puede denominar la teoría o método de los planos medios al sistema que resuelve esta problemática. Consiste en construir el modelo atendiendo a las medidas de los planos imaginarios que discurren por el centro del espesor de cada pieza, prolongando las longitudes para conectar estos planos medios.

Este falseamiento de las medidas no compromete a la estructura, por este método se están ampliando los vanos quedando el cálculo en el lado de la seguridad, tampoco supondrá una gran variación en los resultados, se da la condición de que el espesor es mucho mayor a la longitud $e \ll L$.

Keypoint

El procedimiento más sencillo para el dibujo de una línea es unir dos “keypoints”, ANSYS® denomina “keypoint” a un punto en el sistema de referencia, el paso previo indispensable si se sigue este procedimiento es situar keypoints pertenecientes a inicio y final de las líneas para poder formarlas con su unión (Figura 3).

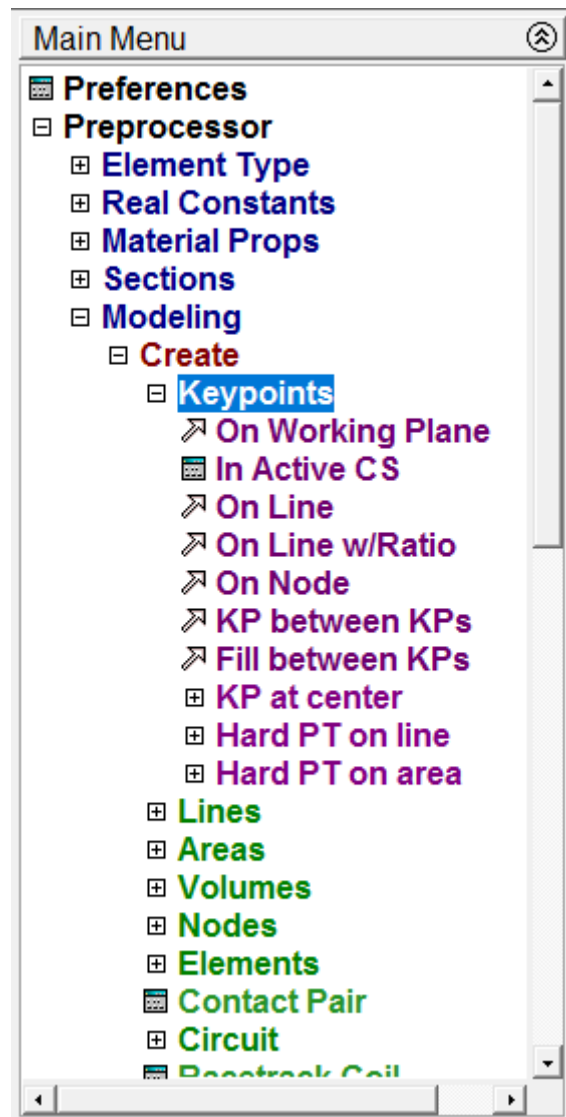


Figura 3 - Crear Keypoint

Al hacer click en “In Active CS” se abrirá una ventana a través de la cual se podrán insertar las coordenadas del Keypoint (Figura 4).

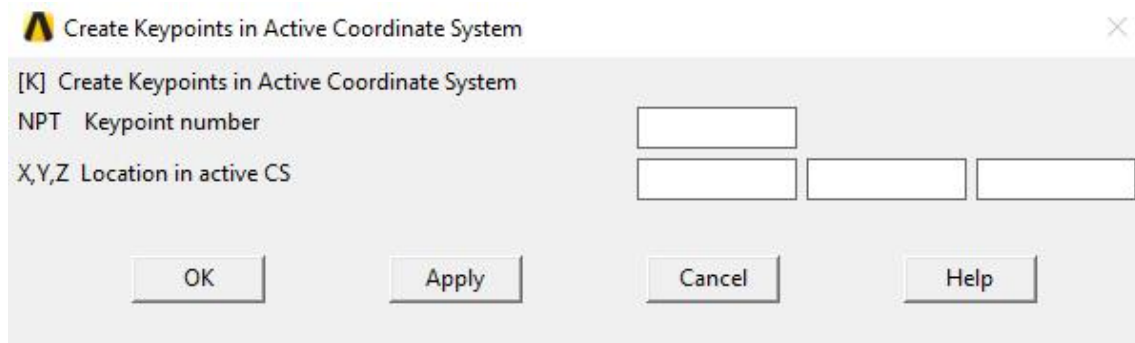


Figura 4 - Introducir coordenadas

ANSYS® trabaja por defecto con coordenadas globales, estas coordenadas se pueden modificar cambiando de posición el “working plane” (plano de trabajo), este plano auxiliar se puede ubicar en un punto creado, desplazar una magnitud en uno o varios ejes y familiarizarse con él resultará de mucha utilidad para necesidades futuras.

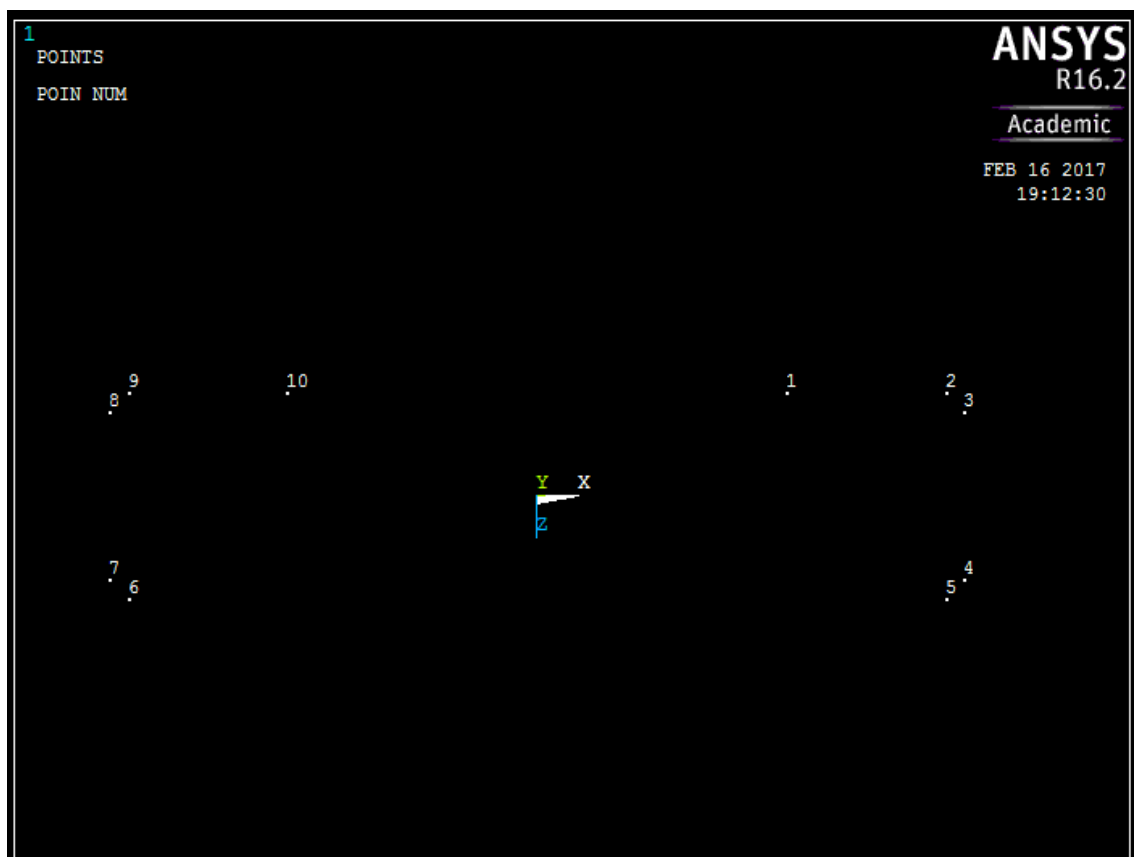


Figura 5 - Keypoints

Líneas

Con los keypoints dispuestos en el plano la creación de los nodos es trivial, ANSYS® permite seleccionar los puntos que determinarán los extremos de la línea (Figura 6).

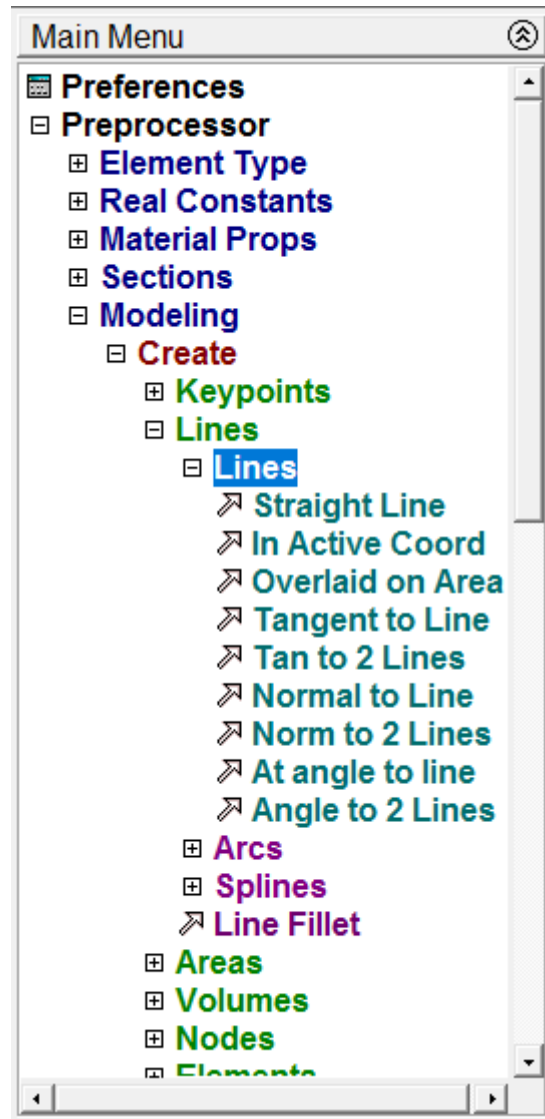


Figura 6 - Crear línea

“Straight Line” es el comando que habilita esta función. Uniendo las líneas se crea el contorno que da forma a la pieza.

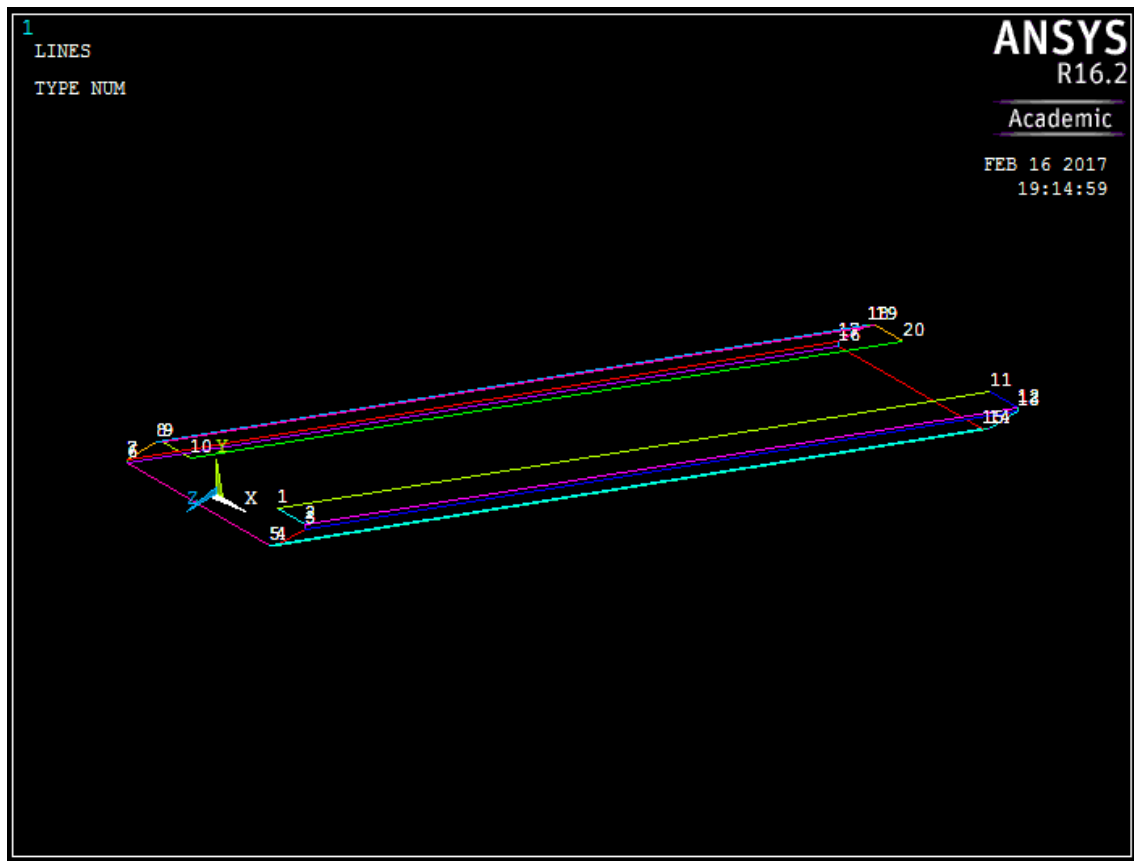


Figura 7 - Líneas

Áreas

Para alcanzar este punto del modelado existe un camino claro que no ofrece demasiadas variantes. Sin embargo, los itinerarios que se pueden recorrer para la creación de un área son diversos.

Los usados para este proyecto han sido:

- “By lines”: Este comando solicita las líneas que encerrarán la superficie deseada y forma el área automáticamente en su interior. Es útil cuando se tiene la geometría contorneada con las líneas, el inconveniente es que se deben crear previamente todas las líneas (Figura 9).
- “By skinning”: Este comando traza el área que conectará dos líneas, o conjunto de líneas, por el camino más corto. Es útil cuando se tiene la sección inicial y final de una pieza pudiendo crear de un solo comando varias áreas, el inconveniente es que no puedes ejercer ningún control sobre el camino que recorre trazando el área o conjunto de áreas (Figura 9).
- “Extrude along lines”: Este comando crea el área mediante la operación de extrusión. Es útil cuando se tiene la línea que funciona como vector de dirección (Figura 8).

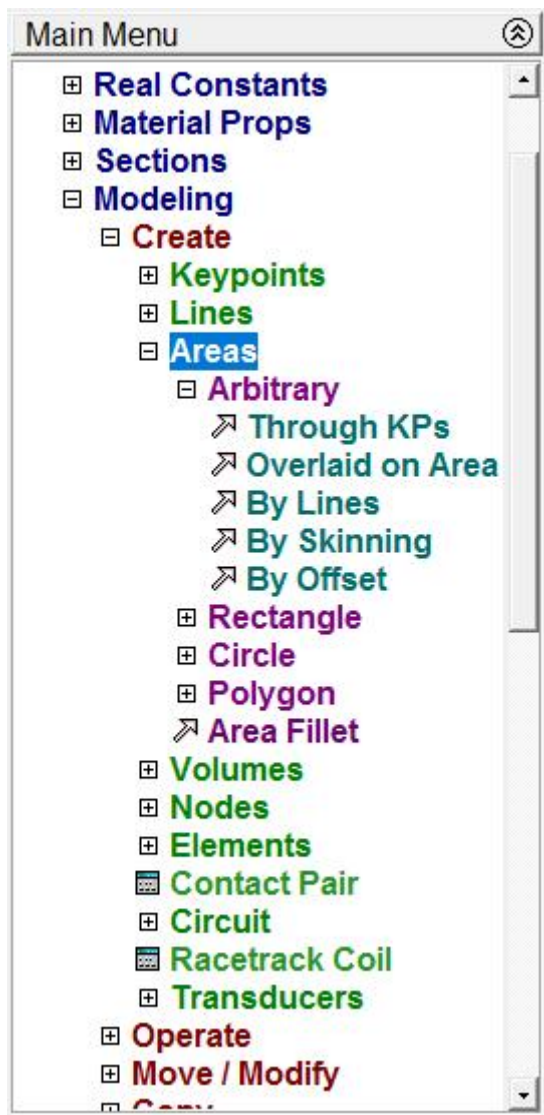


Figura 9 - Crear área (I)

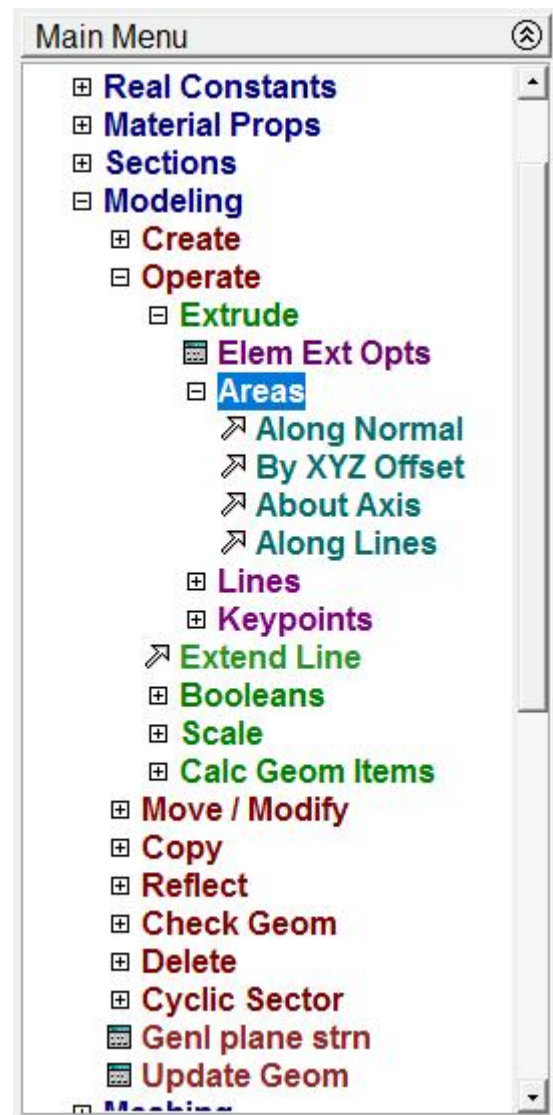


Figura 8 - Crear área (II)

Con el uso de estos tres comandos se pueden crear todas las áreas para este trabajo.

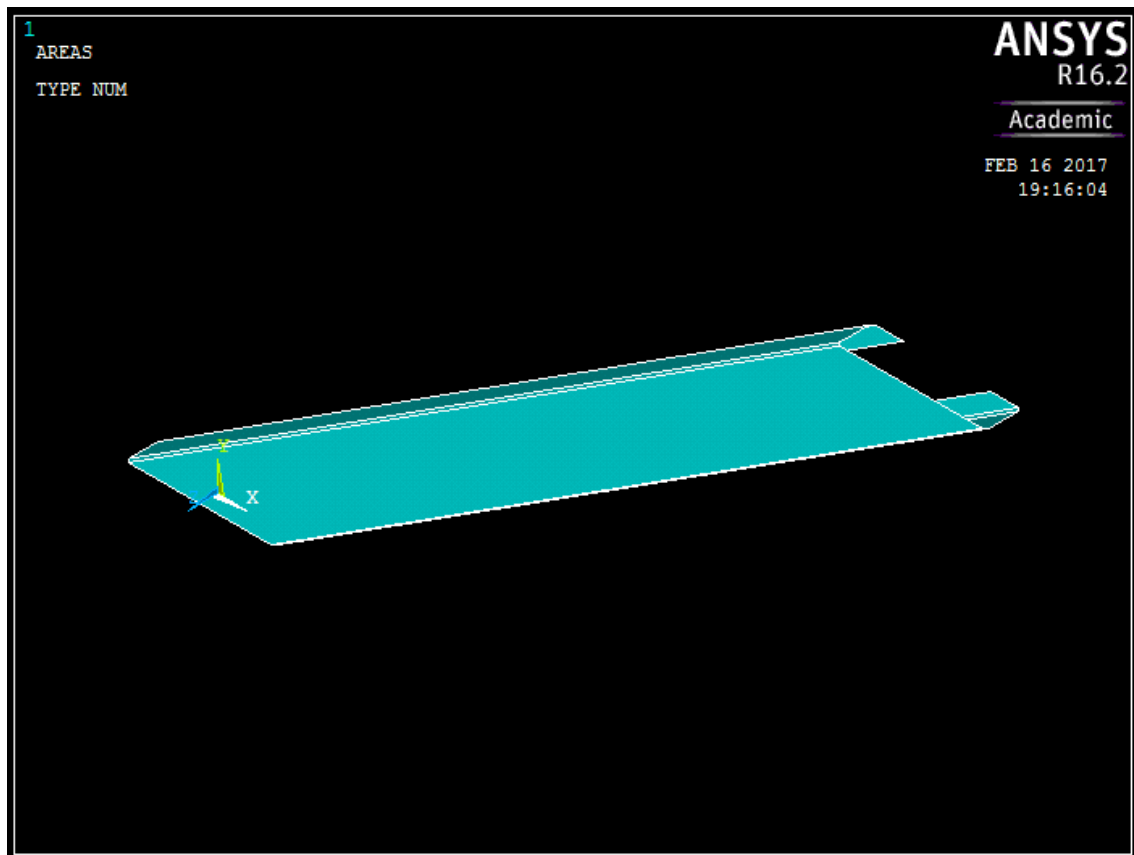


Figura 10 – Áreas

Donde reside la complejidad del modelado de la geometría en ANSYS® es en las uniones. El software, a menos que se le imponga una conexión no detectará por sí solo que existe una vinculación entre las piezas de la geometría.

La forma de transmitir al programa esta condición es mediante líneas. Una línea en común entre dos áreas conecta ambas áreas.

Este proceder es causante de que surjan más áreas, líneas y nodos de los estrictamente necesarios, si se grafica la estructura asignándole a cada área un color se descubren, sin requerir un análisis exhaustivo, cambios de color en zonas que deberían tener continuidad (Figura 11).

Se debe explicar que las discontinuidades debidas a los cambios de área no intervienen de forma alguna a los resultados. Las líneas solo tienen la función de limitar las áreas auxiliares que serán malladas, en cuanto se complete el mallado dejarán de tener utilidad y solo afectarán para el cálculo los elementos en los que se dividirá el mallado.

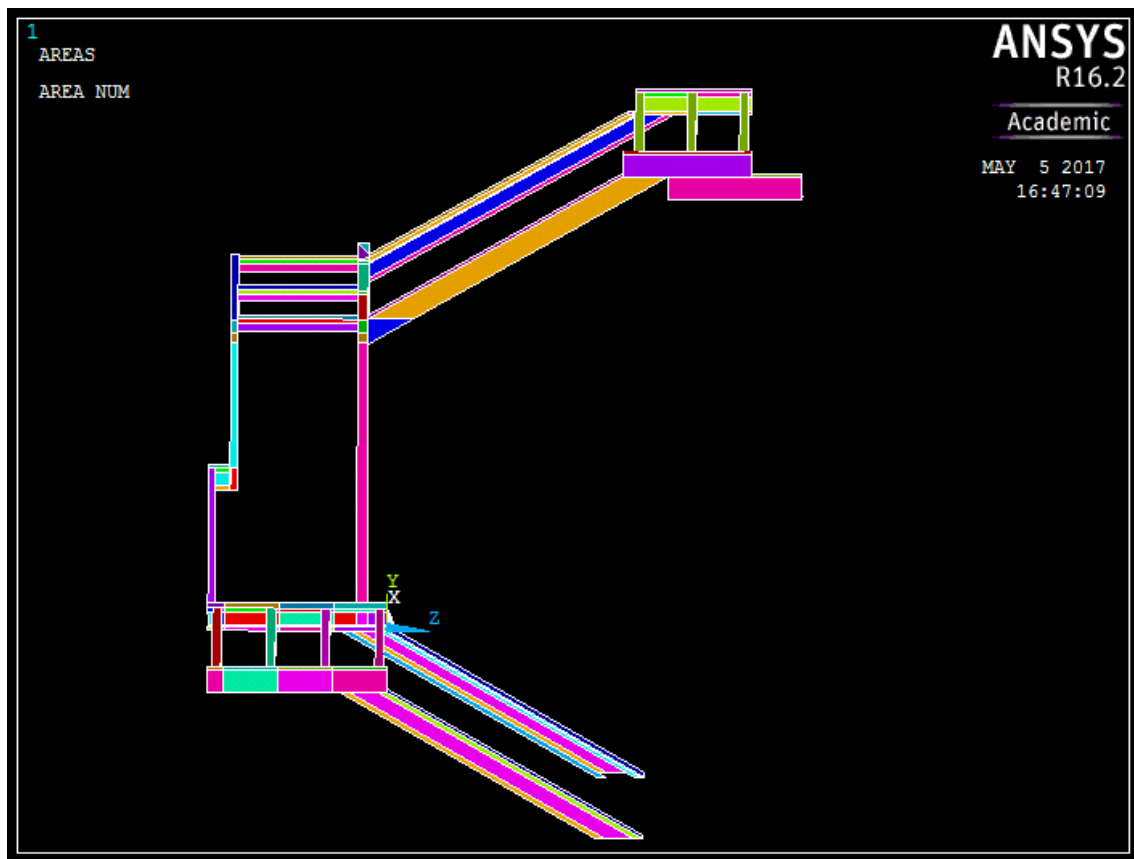


Figura 11 - Áreas de planta baja

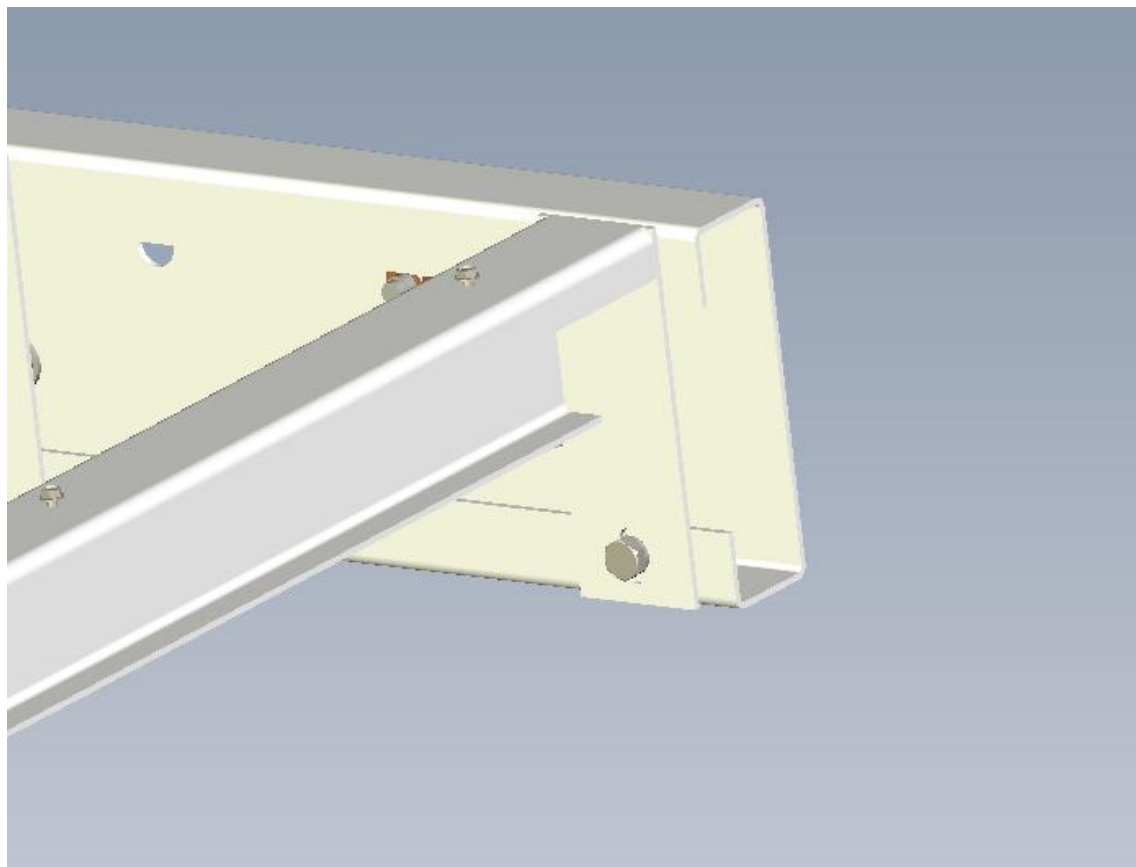


Figura 12 - Unión modelo real

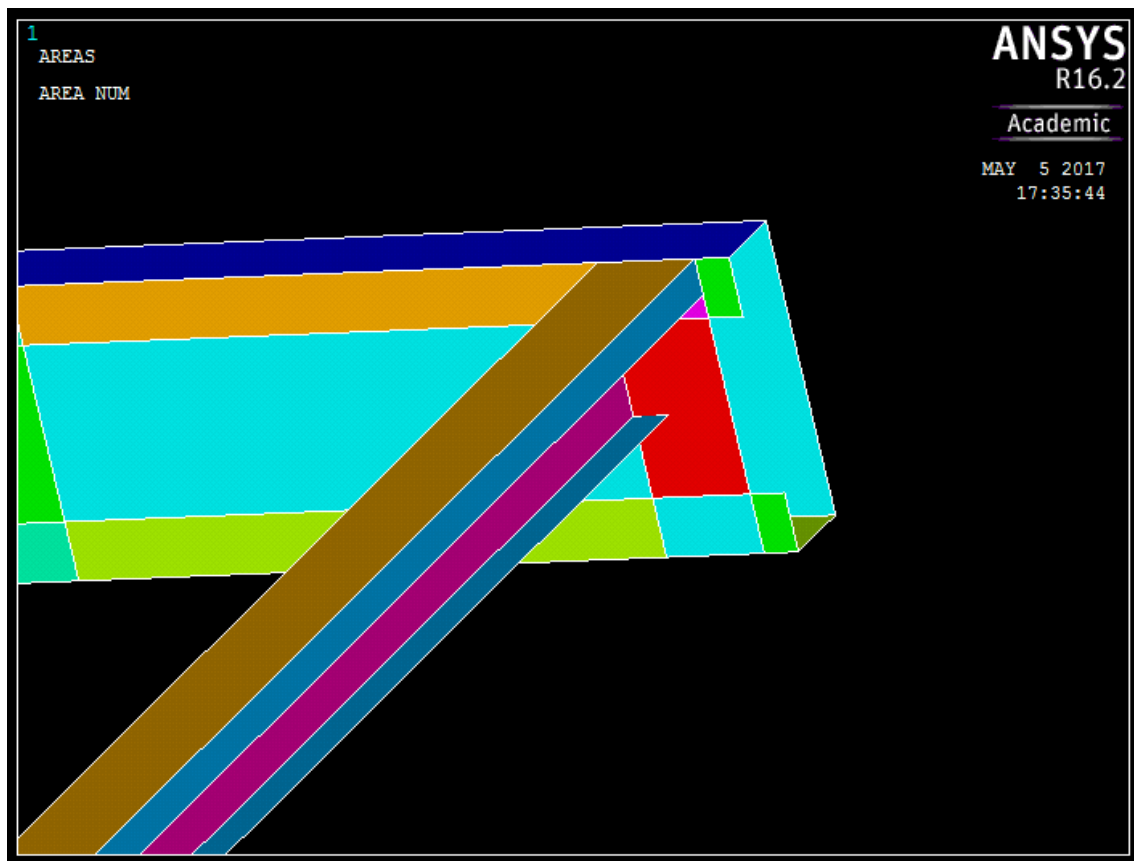


Figura 13 - Unión modelado en ANSYS®

Queda explicado de forma gráfica el método de unión mediante la comparativa entre figuras (Figura 12 y Figura 13). Para que la pletina de conexión esté a nivel de cálculo unida al travesaño se debe dividir su área para que las líneas que contornean las áreas estén compartidas.

Otras funciones

Completar la geometría es fruto de la creación de keypoints, líneas y áreas, pero complementariamente es imprescindible manejar otras herramientas que ofrece el programa.

Copiar

Esta herramienta es fundamental desde el momento en que tenemos plantas cuasi-idénticas entre sí, pero, además; se hace muy útil al encontrar piezas con altos grados de similitud que copiando y alterando algo su geometría reduces considerablemente el trabajo que supondría empezar desde cero la nueva pieza.

Permite duplicar cualquier elemento dibujado introduciendo unas coordenadas que significarán el desplazamiento de la copia respecto a la original.

Mover

Esta función es útil principalmente para corregir distancias o posiciones.

Permite desplazar cualquier elemento dibujado introduciendo unas coordenadas de movimiento.

Girar

Esta herramienta no existe como tal en ANSYS®, para desbloquear esta función se debe cambiar el sistema de coordenadas de ejes cartesianos a cilíndricos, esta modificación habilita que los movimientos posteriores que se ejecuten se realizarán en torno a un eje en lugar de a lo largo de este.

Permite rotar piezas un determinado número de grados.

Divide

El comando “Divide” es el pasaporte para crear las uniones que se mencionaron anteriormente (Figura 14).

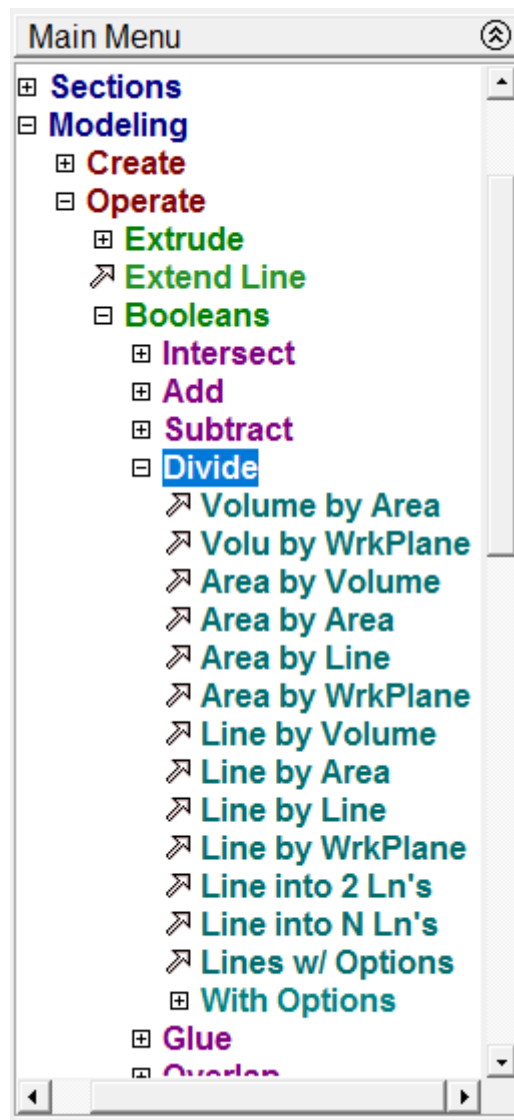


Figura 14 - Comando "Divide"

“Divide”, como su propio nombre indica, divide una línea o un área (o un volumen, no nos atañe) por diferentes métodos, creando líneas de corte en las áreas divididas, hecho que resulta de ayuda al ser el propósito que buscamos con las divisiones.

Los usados con más frecuencia para este proyecto han sido:

- “Area by Area”
- “Area by Line”
- “Line by Area”
- “Line by Line”
- “Area by working plane”
- “Línea by working plane”

La mayoría tienen un comportamiento predecible por el título de su comando, sin embargo; resulta interesante desarrollar el concepto de “Working Plane” (Figura 15).

El “Working Plane” o plano de trabajo, es el plano auxiliar que se puede crear y mover a antojo liberándose así de la inmovilidad de los ejes globales principales que al poco tiempo de empezar a construir el modelo pierden toda funcionalidad. Irse alejando de la referencia primitiva complica en exceso mantenerla como coordenada cero de los movimientos (Figura 16).

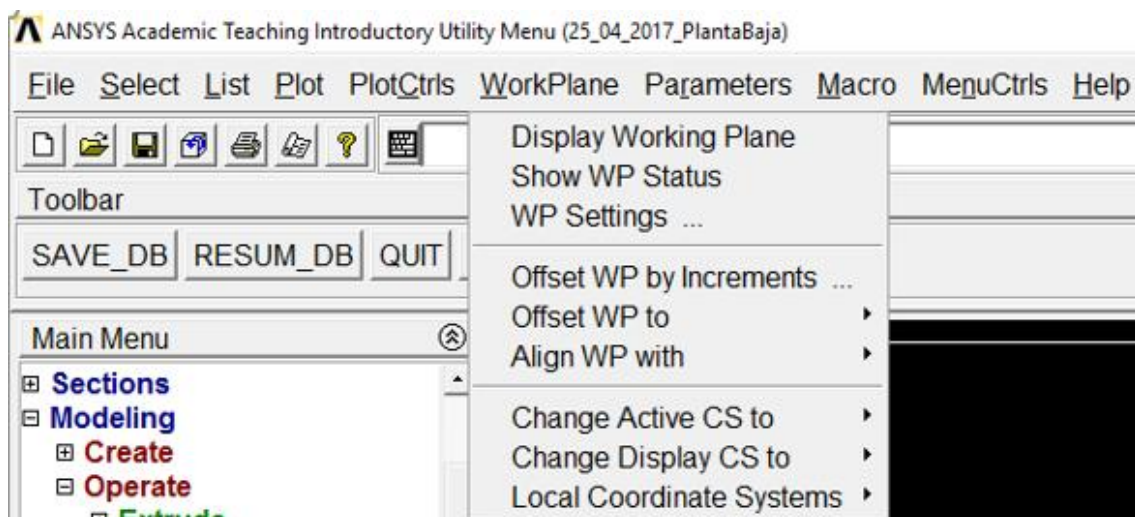


Figura 15 - Working Plane

Las posibilidades de juego que tenemos con el plano de trabajo son las siguientes:

- “Offset WP by increments”: Permite el desplazamiento del plano de trabajo a partir de incrementos en los ejes del sistema de coordenadas activos.
- “Offset WP to”: Permite la traslación, manteniendo su orientación, del plano de trabajo a un “Keypoint” o a un punto del sistema de coordenadas activo.
- “Align WP with”: Realiza la misma función que “Offset WP to” pero sin mantener la orientación. Para este proyecto solo resulta útil para resetear su posición alineándolo con el sistema de coordenadas globales.
- “Change active CS to”: Este comando cambia el sistema de coordenadas activo (Coordinate Systems). Mediante esta función se puede convertir el plano de trabajo en el sistema de coordenadas activo, paso necesario para que cobre sentido todos los movimientos que se hagan sobre él. Es, además, el comando que permite el cambio a coordenadas cilíndricas necesario para girar un conjunto de elementos.

Cabe añadir que el sistema de coordenadas activos es por el que se rige ANSYS® cuando se introducen coordenadas en cualquier comando.

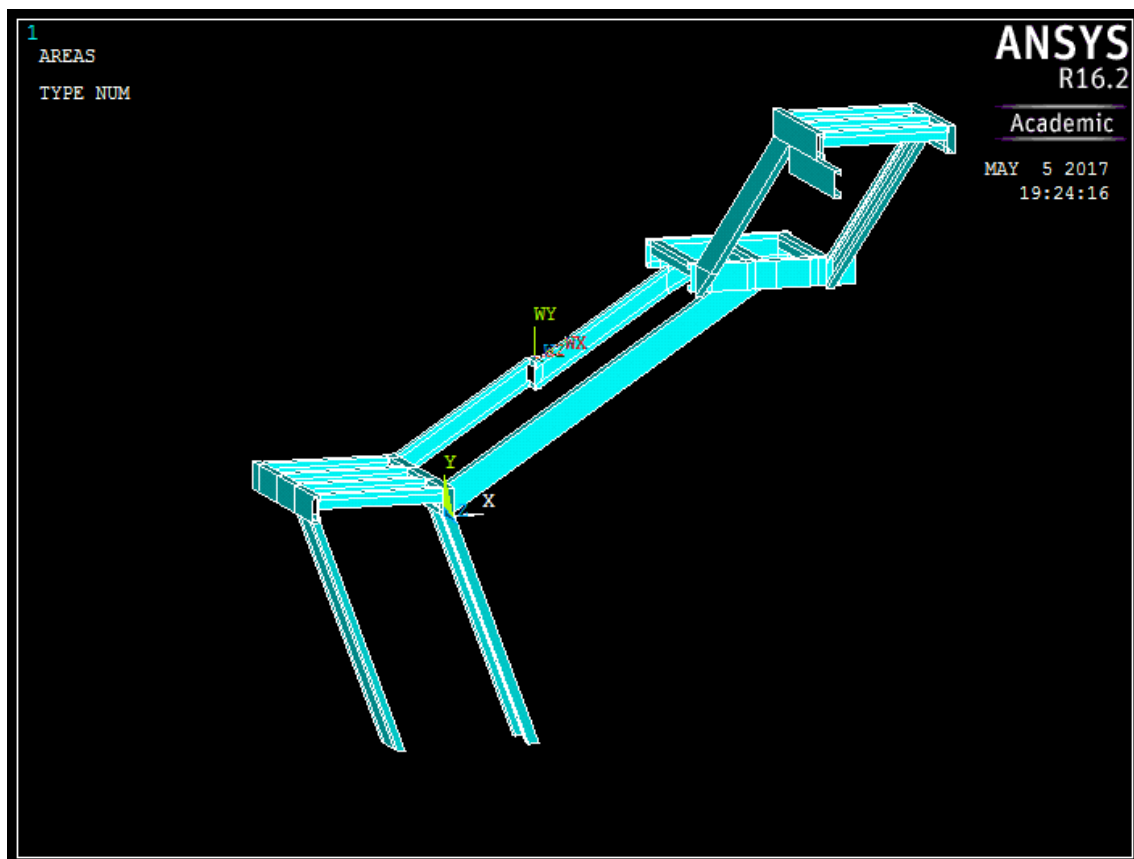


Figura 16 - Display Working Plane

El plano de trabajo es el que tiene la denominación de los ejes precedida por la letra “W”

Medir

El comando “KP Distances” en la sección “Check geometry” permite seleccionar dos “Keypoints” y ofrece la distancia comprendida entre ellos.

Eliminar duplicados

“Merge Items” en el apartado “Numbering Controls” permite quitar duplicados, creados con frecuencia por la herramienta “Divide”, asignando al elemento resultante la numeración más baja de los implicados en la fusión.

Pre-Mallado

Todo lo hecho hasta este punto ha sido una preparación para conseguir un mallado eficiente.

Por el momento, en ninguna fase del modelado de la geometría se habían introducido las propiedades mecánicas del acero, ni el espesor...

La geometría que se maneja en este punto es un conjunto de áreas sin entidad física que carecen de utilidad para realizar el cálculo.

Tipo de elemento

Por este motivo se debe dar cuerpo al modelado, como primer paso se requiere crear el tipo de elemento con el que vamos a trabajar (Figura 17).

ANSYS®, como cualquier programa que calcule mediante el método de elementos finitos, ofrece unos elementos tipo que habrá que escoger según el propósito y las necesidades del cálculo que se desee.

Se está trabajando con elementos planos de un espesor delgado, esta situación descarta los tipos propios de elementos volumétricos.

Interesa conocer los esfuerzos a los que estará sometido la estructura, esta necesidad y la geometría en tres dimensiones que se ha construido produce que el elemento idóneo para este análisis sea el tipo “Shell”.

De los dos tipos de elemento “Shell” en 3D, el de cuatro nodos y el de ocho. La diferencia reside en la precisión de la malla, el de ocho nodos contará con un elemento más fino en su geometría, el de cuatro creará un elemento más básico. A pesar de la peor calidad del mallado con elementos de cuatro nodos se garantiza la precisión mediante un tamaño de elemento más pequeño (Figura 18).

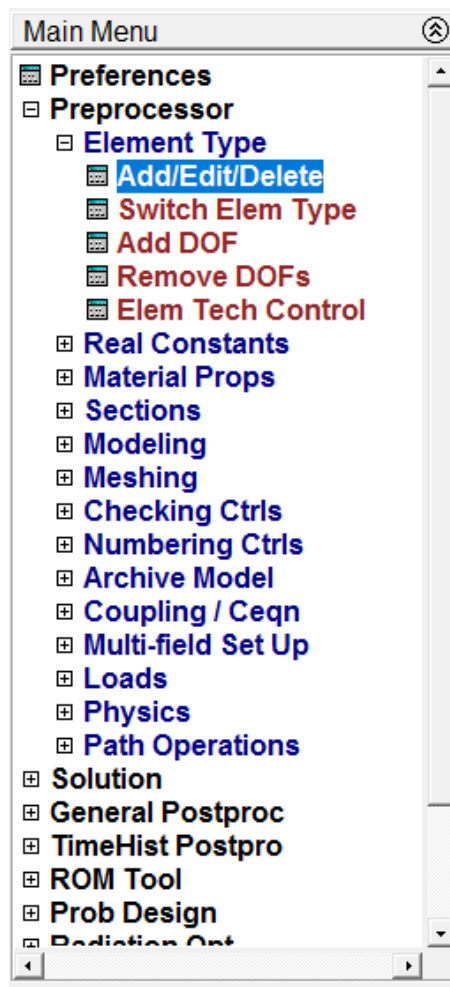


Figura 17 - Añadir Elemento

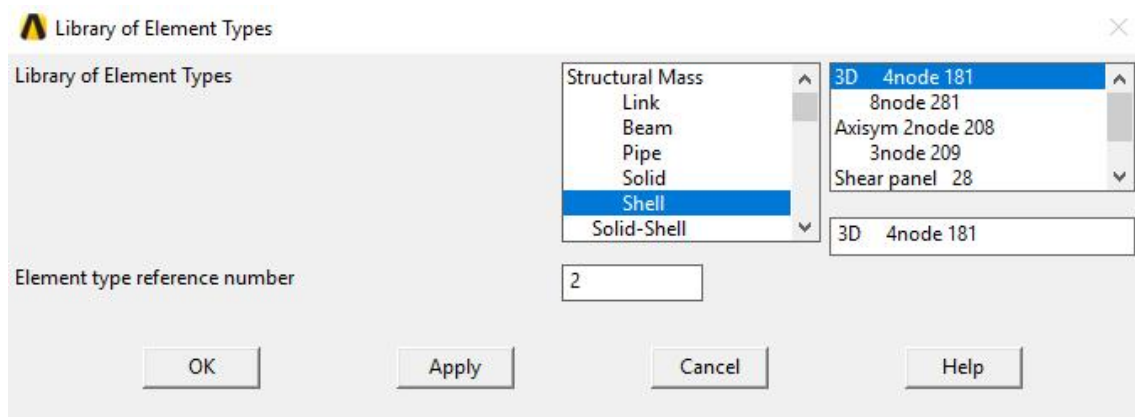


Figura 18 - Shell 3D 4node 181

Material

La estructura se realizará en su totalidad con acero S275.

Clase de acero	Límite elástico	Módulo de Young	Coeficiente de Poisson	Densidad
S 275	275 [N/mm ²]	210.000 [N/mm]	0.3	7850 [Kg/m ³]

Figura 19 - Propiedades del acero S275

Conocidas sus características, se deben introducir en el programa para que los resultados de respuesta ante los esfuerzos sean acordes a la realidad (Figura 19 - Propiedades del acero S275).

El comportamiento del acero es correcto suponerlo como el de un material lineal elástico isótropo.

En física, la isotropía es la característica de algunos cuerpos cuyas propiedades físicas no dependen de la dirección en que son examinadas. Es decir, se refiere al hecho de que ciertas magnitudes vectoriales conmensurables dan resultados idénticos independientemente de la dirección escogida para dicha medida (4).

Escoger el apropiado modelo del material es determinante para la resolución, las ecuaciones a emplear variarán según que comportamiento tenga el material por no ser estas universalmente válidas para todos los tipos (Figura 20).

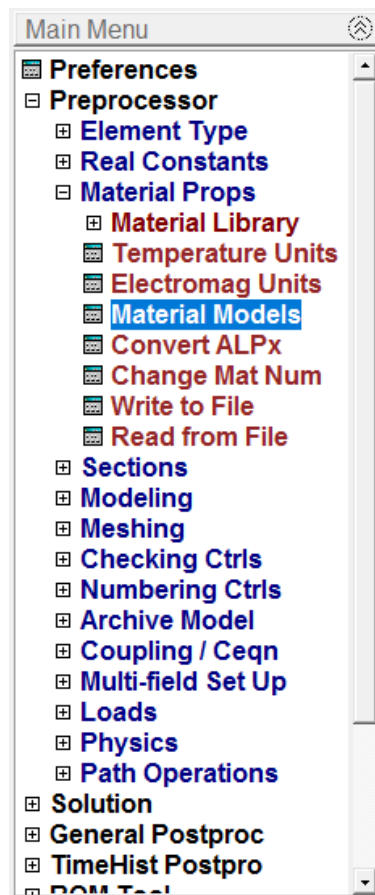


Figura 20 - Asignar material

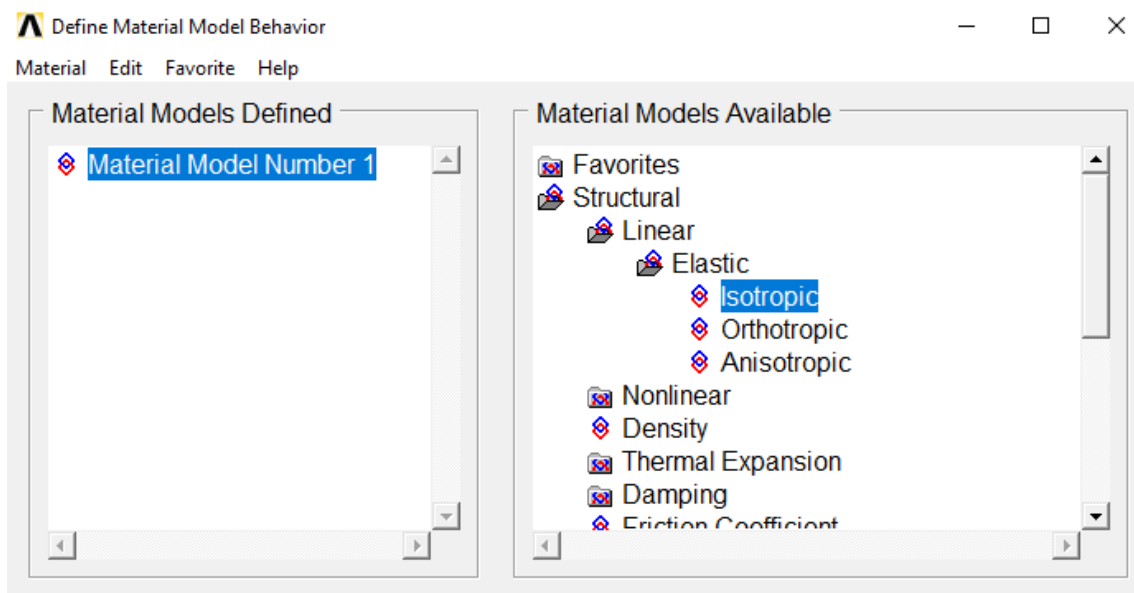


Figura 21 - Material elástico lineal isótropo

Al seleccionar el modelo de material (Figura 21), se abrirá una nueva ventana emergente en la que se podrán introducir los datos (Figura 22).

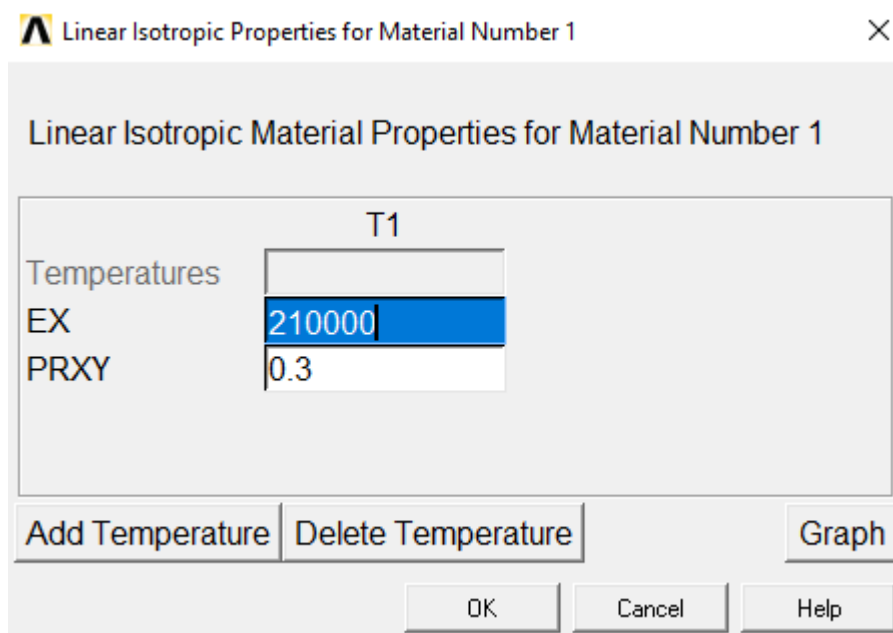


Figura 22 - Introducir propiedades del material

Nótese, que las unidades insertadas son Newton [N] y milímetros [mm]. Se debe tomar precaución con las unidades que se van introduciendo y de la congruencia con lo tomado anteriormente.

La geometría se construyó en milímetros, de forma que el módulo de Young se ha introducido consecuentemente en milímetros.

En la ventana que se abre cuando se selecciona la biblioteca de modelos de materiales con los que cuenta ANSYS® también está la opción de agregarle una densidad al material. Al asignarle una densidad ya entran en juego los efectos gravitacionales en la estructura.

Es con la densidad como se puede aplicar la carga por el peso propio de la estructura (Figura 23).

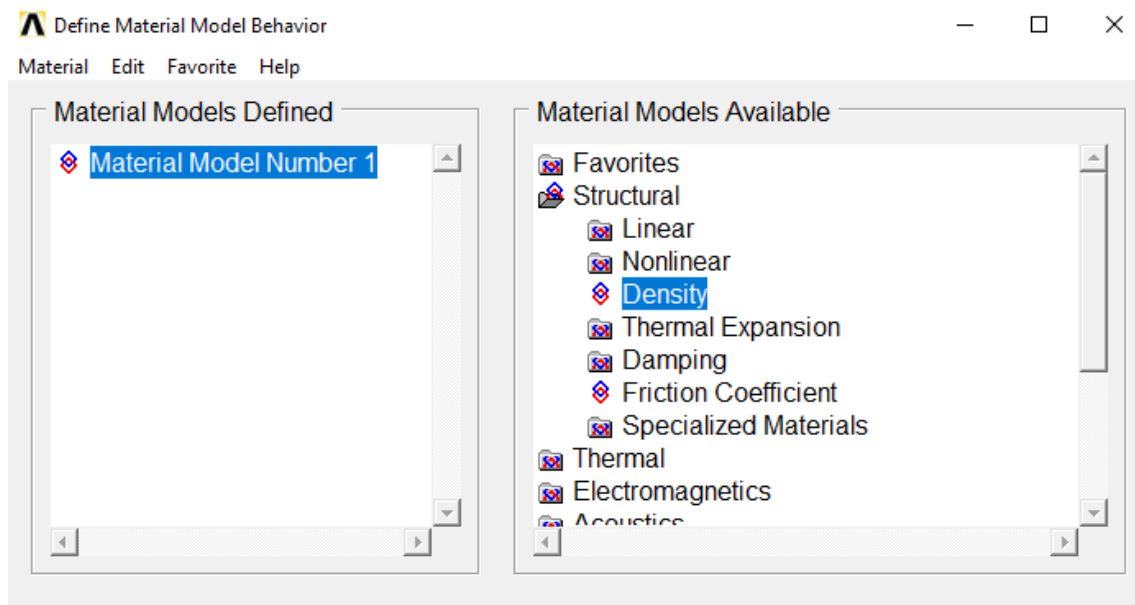


Figura 23 - Densidad

Las cargas a considerar en la estructura son determinadas según las directrices del código técnico. El código técnico impone todos los valores y los coeficientes de seguridad que se deben aplicar, en el apartado de cargas se desarrollará el aspecto de las sobrecargas a aplicar con la profundidad necesaria.

Sin embargo, a estas alturas del estudio ya entra en juego una carga, el peso propio al que damos vida al introducir la densidad.

El documento de “Seguridad Estructural (SE)” del “Código Técnico de la Edificación (CTE)” cuenta con una tabla que determina los coeficientes de seguridad para cada carga.

El peso propio es una carga permanente en el tiempo, constantemente va a tener la misma densidad y la gravedad no va a dejar de actuar en ningún momento.

La tabla distingue entre dos condiciones, favorable o desfavorable. En el estudio, todas las cargas implicadas van a actuar en el mismo sentido, vertical descendente (eje Z). Esto supone que ninguna carga va a favorecer a la estructura (ninguna carga se contrapondrá a las demás).

Concluyendo que todos los coeficientes de seguridad que se han de tomar, incluido el del peso propio, serán para condiciones desfavorables que mayorarán la carga.

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Figura 24 - Coeficientes parciales de seguridad SE (página 11)

Es trivial consultar la tabla y encontrar el valor a tener en cuenta, multiplicará un coeficiente de 1.35 al valor de la carga de peso propio (Figura 24).

Density for Material Number 1

	T1
Temperatures	
DENS	10597,5e-9

Add Temperature Delete Temperature Graph

OK Cancel Help

Figura 25 - Introducir densidad

Nuevamente, nótese que las unidades en las que se ha introducido la densidad han sido en kilogramos y milímetros.

Sección

Se ha creado el tipo de elemento y el material, pero aún no se ha asignado a las áreas creadas en la fase de modelado.

Este es el último paso que se ha de dar antes del mallado, es aquí también donde se le da un espesor.

En el menú principal se selecciona el tipo de sección, correspondiente al tipo de elemento elegido anteriormente, que se creará (Figura 26).

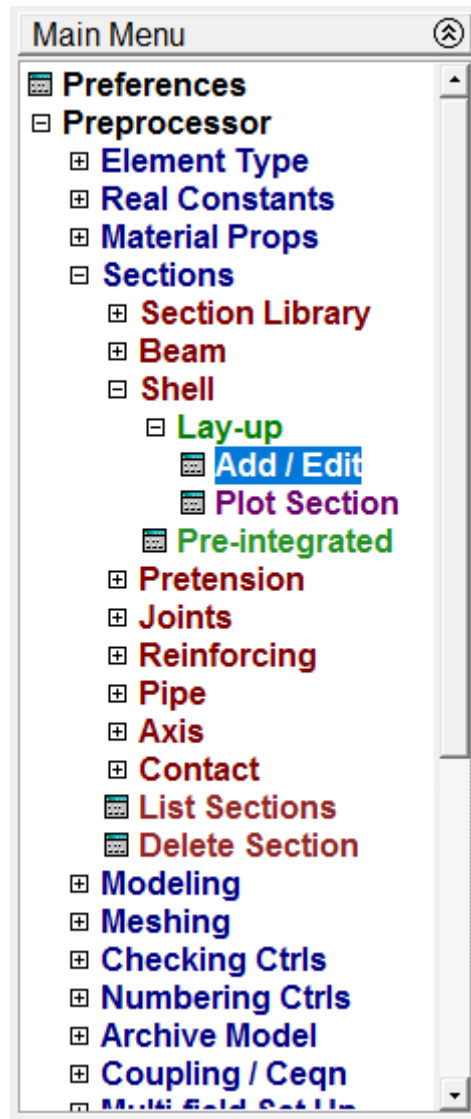


Figura 26 - Sección

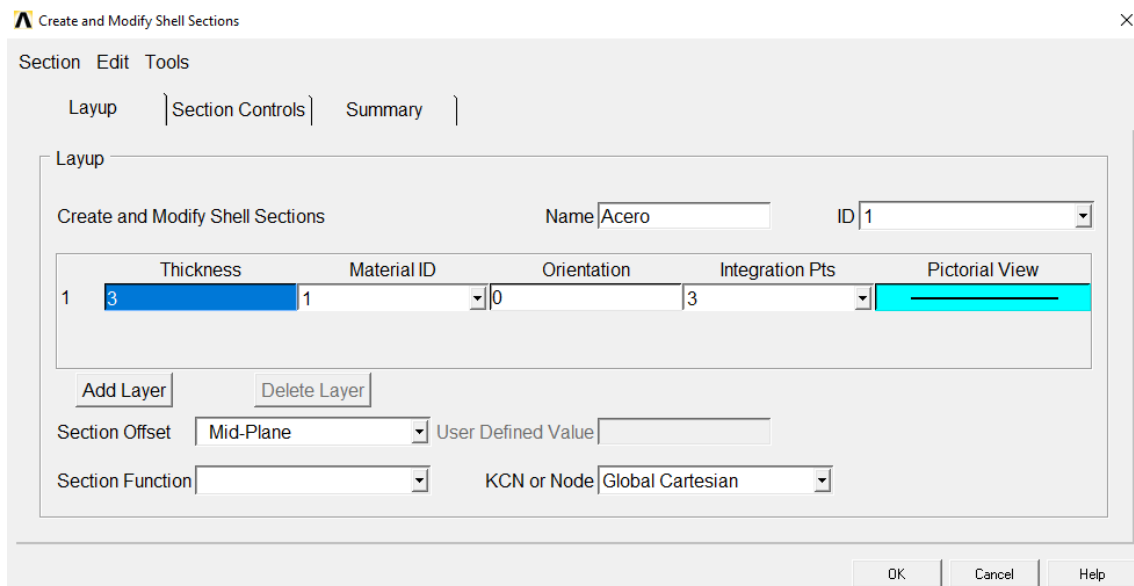


Figura 27 - Crear sección Shell

En la nueva ventana de introducir datos que se abrirá se dará toda la información pertinente para dar forma a la sección (Figura 27).

- Thickness: Espesor. En esta estructura, todas las piezas cuentan con el mismo espesor restando complicaciones de tener que crear más secciones.
- Material ID: En este desplegable se debe seleccionar el material que habíamos creado, al sólo tener uno simplemente escogemos el que viene por defecto que será el creado.
- Add Layer: Mediante este comando se podrían crear más secciones.

Mallado

A lo largo de este informe se ha mencionado ya la importancia del mallado y es en esta fase del análisis cuando se debe realizar.

El principio fundamental por el que se rige el proceso de mallado es dividir la estructura en elementos más pequeños, esto conlleva que en cuanto más elementos se divida la geometría más precisa resultará el cálculo. Esto es un arma de doble filo puesto que si se aumenta el número de divisiones el procesamiento de las ecuaciones de cálculo se hará mucho más largo acumulando tiempos de cálculo que pueden llegar a varias horas.

La clave de un buen mallado es crear un número apropiado de elementos que permitan un cálculo sin saturar en exceso el programa y asegurarse de que los elementos surgidos de las divisiones cuenten con una regularidad en su forma y tamaño.

Dar con el tamaño óptimo es fruto de la experiencia, sin embargo, si no se tiene un largo historial de cálculos por el método de elementos finitos en las espaldas se puede comprobar el mallado y ver en líneas generales su fiabilidad.

Se había dejado la sección creada, pero, aún no estaba asignada a las áreas. Se asigna desde el menú de “Meshing” o mallado (sea este el motivo de por qué se detalla en este apartado) (Figura 28).

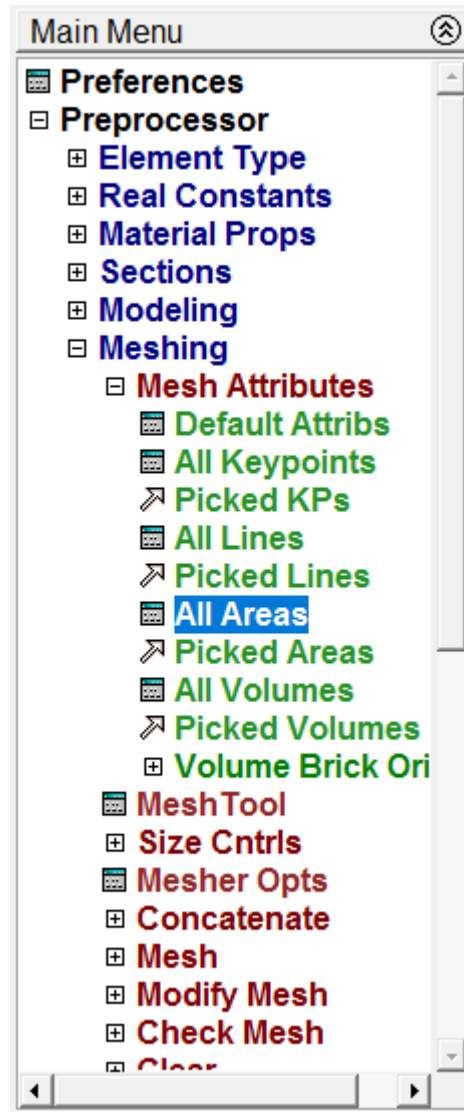


Figura 28 - Asignar sección

Se seleccionan la sección, el material y el tipo de elemento y a continuación se escogen todas las áreas, todas tendrán la misma sección al tener el mismo espesor (Figura 29).

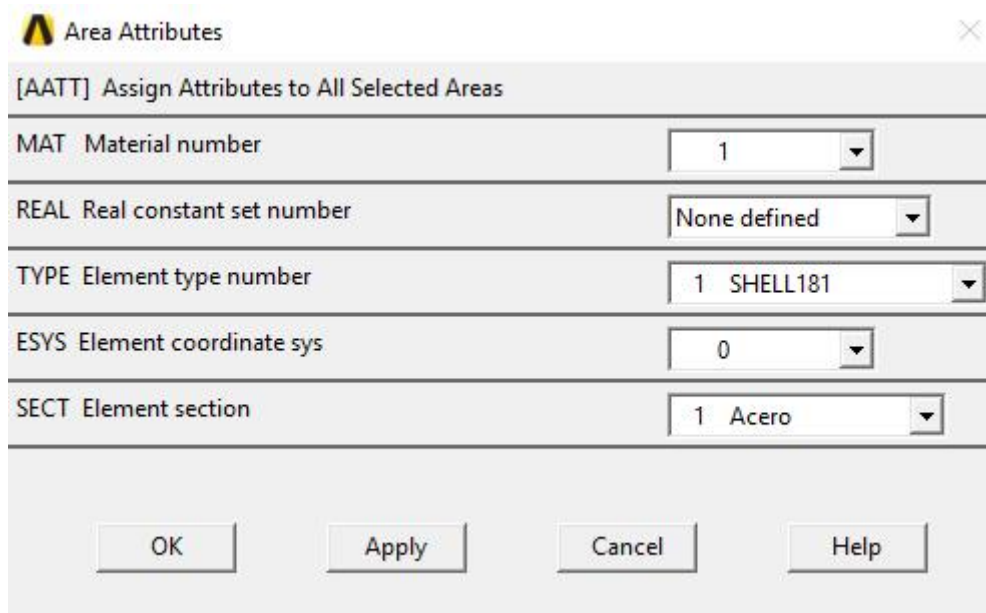


Figura 29 - Introducir atributos del área

Para dar forma al mallado, ANSYS® dispone de un sencillo menú independiente, se abre desde el comando “Mesh Tools” (Figura 30).

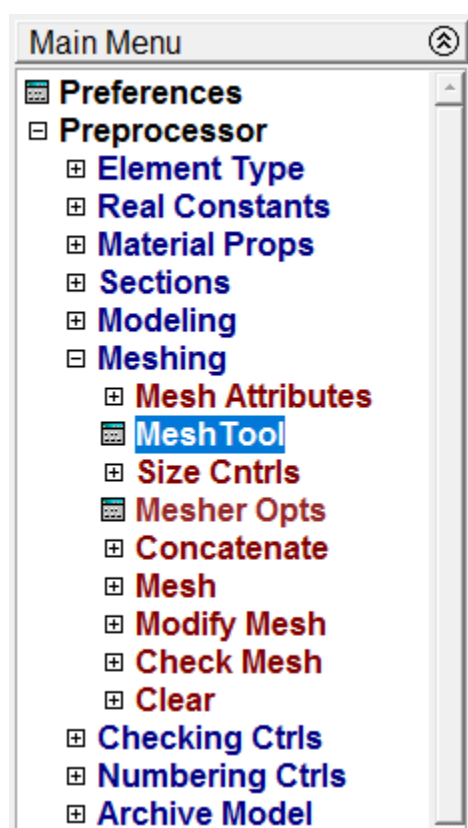


Figura 30 - Mesh Tools

Una vez abierto, a través de él se pueden imponer las condiciones que crearan el mallado deseado. Así como, forma y tamaño del elemento (Figura 301).

MeshTool

Element Attributes:

Global

☐ Smart Size

Fine 6 Coarse

Size Controls:

Global

Areas

Lines

Layer

Keypoints

Mesh: Areas

Shape: ☐ Tri ☒ Quad

☒ Free ☐ Mapped ☐ Sweep

3 or 4 sided

Refine at: Elements

La forma de los elementos puede ser de dos tipos estandarizados, triangular (Tri) o cuadrado (Quad).

Para este caso, y dado que la estructura está formada por, en su mayoría, ángulos rectos, la forma cuadrada se ajustará mejor a la geometría.

ANSYS®, también distingue entre forma libre (Free) o mapeada (Mapped).

- **Free:** A pesar de que se elija forma cuadrada, el programa tendrá la libertad de alterar su forma para ajustarse a la geometría en aquellos puntos que den problemas para mantener su forma regular.

- **Mapped:** El programa será plenamente estricto con la directriz de forma marcada. Resulta prácticamente imposible mantener una curva de forma cuadrada en el mallado por lo que si se marca este criterio de creación el programa lanzará un mensaje de error que informará de la inviabilidad de realizar la malla.

El tamaño del elemento deberá ser calculado a partir del área más estrecha y asegurarse que en este tramo de geometría haya un número suficiente de elementos para no comprometer la fiabilidad de los resultados.

Las zonas más pequeñas son los flejes que dejan la viga abierta (Figura 32).

Configurando el tamaño del elemento para que contenga 3 filas de divisiones en esos tramos podemos validar el mallado.

Con elementos cuadrados de 10 milímetros de lado se cumplirá esta condicion (Figura 33).

Figura 31 - Menú "Mesh Tool"

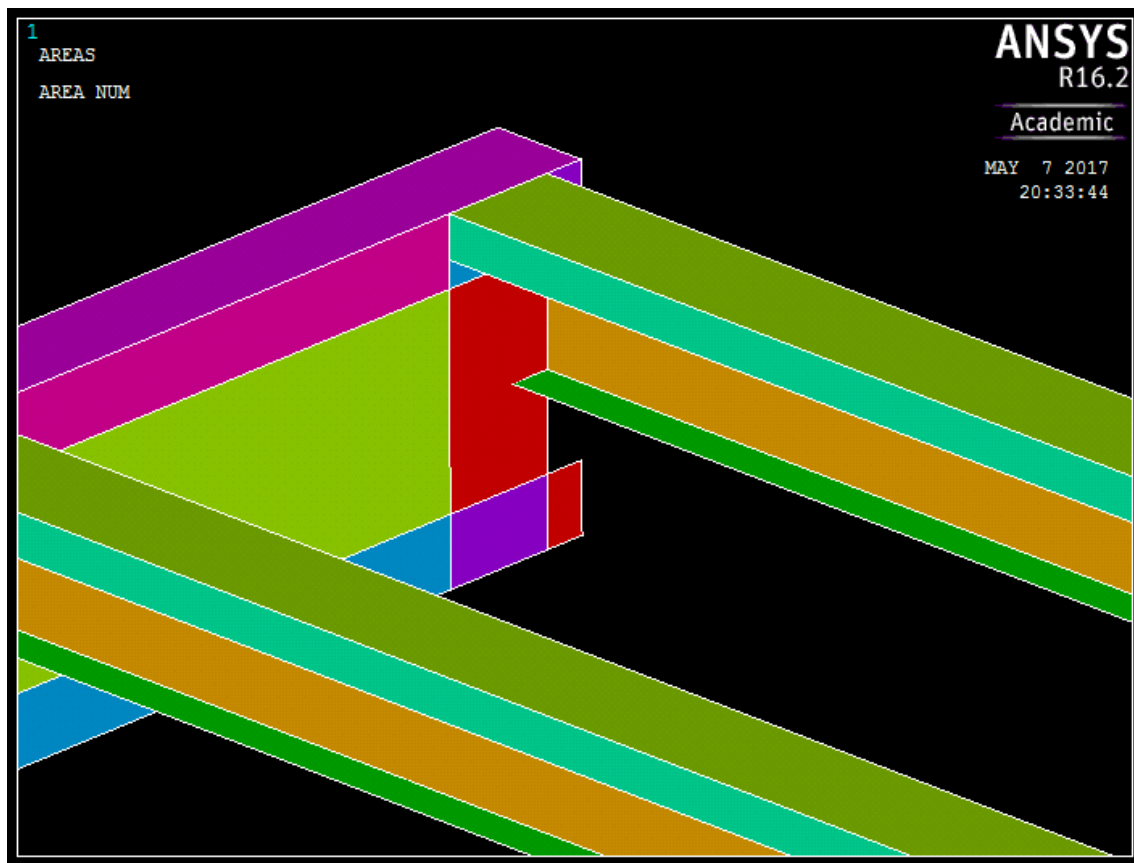


Figura 32 - Ejemplo de zona que determinará el mallado

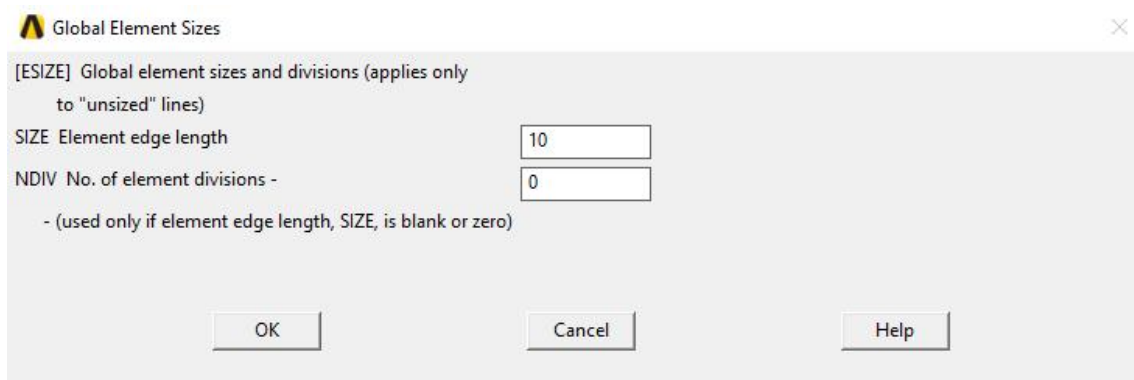


Figura 33 - Introducir tamaño de elemento

Ejecutando el comando “Mesh” el software comenzará a efectuar algoritmos para lograr mallar la planta baja de la escalera para su análisis.

Será necesario comprobar el mallado resultante cuidando la regularidad de la forma de los elementos de división y las densidades en los puntos clave (Figura 34).

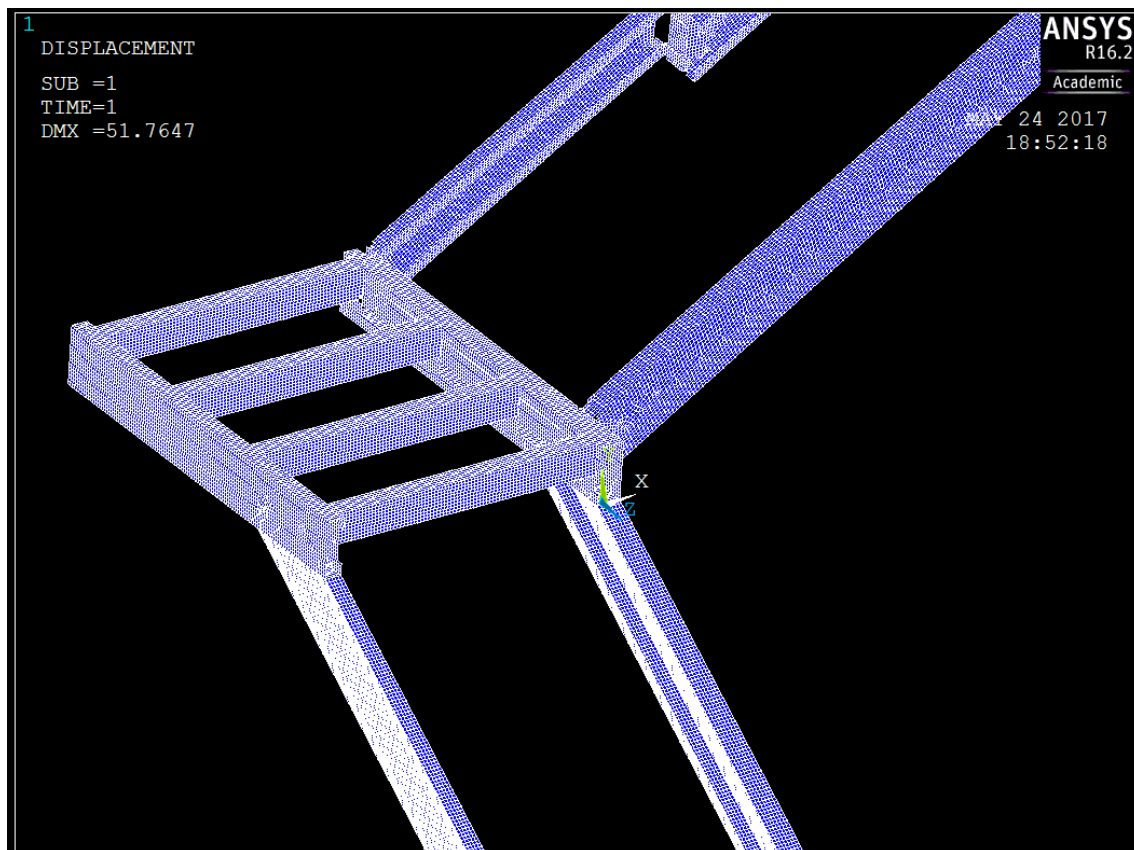


Figura 34 - Mallado

Cargas

Las sobrecargas que debe garantizar resistir nuestro diseño están establecidas por el código técnico de la edificación.

Peso propio

El peso propio de la estructura de acero ya está siendo incluido a través de la densidad aplicando los efectos gravitatorios con el pertinente coeficiente de seguridad. Para este coeficiente ya se había consultado el código técnico.

Sobrecarga de uso

La denominada sobrecarga de uso es la correspondiente al conjunto de cargas que podrán gravitar sobre la estructura por razones de uso.

El documento básico de seguridad estructural por acciones en la edificación, es aquel que compendia todo lo que se debe aplicar para el correcto cumplimiento de los requisitos de fiabilidad de la estructura.

En él se encuentra una tabla en la que se podrá obtener la sobrecarga de uso en función de la categoría de uso de la estructura (Figura 35).

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾ ⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Figura 35 - Valores característicos de las sobrecargas de uso

El caso de la escalera sobre la que versa el estudio que se ha realizado pertenece a la categoría A1.

Se encuentra enmarcada en el ámbito de una zona residencial destinada al acceso de las viviendas.

Para este tipo de uso, el código técnico, que tiene carácter legislativo, exige la resistencia a una sobrecarga de 2 kN/m².

Viento y nieve

La estructura está protegida de los efectos del viento y la nieve, está se encuentra en el interior del edificio. No se ha considerado necesario atender a estas cargas puesto que no se darán.

Peso del recubrimiento

No se debe ignorar que se está realizando el estudio de la estructura de acero que integrará la escalera, sobre ella se instalarán unas baldosas que se convertirán en la superficie de pisado.

El código técnico vuelve a caracterizar el peso que supondrá este material en la escalera, ofrece un conjunto de tablas con multitud de materiales catalogados en función de su aplicación (Figura 36).

Tabla C.3 Peso por unidad de superficie de elementos de pavimentación

Materiales y elementos	Peso kN/m²	Materiales y elementos	Peso kN/m²
Baldosa hidráulica o cerámica (incluyendo material de agarre)		Linóleo o loseta de goma y mortero	
0,03 m de espesor total	0,50	20 mm de espesor total	0,50
0,05 m de espesor total	0,80	Parque y tarima de 20 mm de espesor sobre rastreles	0,40
0,07 m de espesor total	1,10	Tarima de 20 mm de espesor rastreles recibidos con yeso	0,30
Corcho aglomerado		Terrazo sobre mortero, 50 mm espesor	0,80
tarima de 20 mm y rastrel	0,40		

Figura 36 - Peso por unidad de superficie de elementos de pavimentación

El desconocimiento con el que se cuenta respecto al espesor de la baldosa que se empleará obliga a tomar el valor más desfavorable.

En este caso:

Baldosa hidráulica o cerámica de 0,07 mm de espesor total → 1,10 kN/m²

Coeficientes de seguridad

Obtenidos todos los valores de las cargas, el marco legislativo español impone aplicar unos coeficientes de seguridad nuevamente detallados por el código técnico de la edificación.

En el apartado en el que se incluye la densidad ya se hizo referencia de los coeficientes de seguridad (Figura 24).

- Sobrecarga de uso: Debe tomarse como carga variable desfavorable, la estructura no se encontrará en carga de uso constantemente.

Coeficiente parcial de seguridad: 1,50

- Peso del recubrimiento: Debe tomarse como carga permanente desfavorable, es un añadido al peso propio.

Coeficiente parcial de seguridad: 1,35

Carga total

La forma en la que se aplicarán las cargas se resume en la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Carga total} = & (\text{Sobrecarga de uso} * 1,5 * \text{Área proyectada} + \text{Peso del recubrimiento} \\ & * 1,35 * \text{Área proyectada} + \text{Peso del recubrimiento} * 1,35 \\ & * \text{Área de la contrahuella}) \end{aligned}$$

Áreas y aplicación de las cargas en ANSYS®

Es importante recordar que todas las cargas halladas en el código técnico son cargas por unidad de superficie.

ANSYS® no permite aplicar cargas de superficie, tan solo cargas puntuales en elementos. Esto provoca que se deba conocer el área del elemento en el que aplicaremos la fuerza.

Calcular el área de los elementos que creó el mallado no es inmediato, para ello facilita la operación una sencilla relación basada en el área original y en el número de elementos creados en esa superficie.

Se deberá distinguir entre cada área de rellano y las áreas de cambio de altura, y sólo se deberán tener en cuenta las superficies expuestas a cargas, entiéndase las visibles en el plano de alzado.

En primer lugar, se toma las medidas del área en el modelo original, después se divide por el número de elementos que componen esa área tras el mallado. El valor resultante equivaldrá al área parcial de la superficie original que deberá soportar el elemento en la zona considerada.

$$\frac{\text{Superficie de apoyo original}}{\text{Nº de elementos del área en ansys}} = \text{Proporción que deberá resistir cada elemento}$$

Caso	Área real proyectada [m²]	Área contra huellas [m²]	Nº de elementos	Carga total [kN]	Carga por elemento [N/m]
Rellano inferior	1,039797	0	3850	4,66348955	1,211295986
Rellano medio	0,773364	0	3025	3,46853754	1,14662398
Rellano superior	0,728156	0	2597	3,26577966	1,257520085
Subida inferior	1,493316	1,086129	2800	8,31042383	2,968008509
Subida media	1,592886	1,15696	2812	8,86217931	3,151557365
Subida superior	1,496442	0,935492	2412	8,10074799	3,358519067

Figura 37 - Tabla de cargas

La carga resultante de esa ecuación será la que se debe aplicar en el sentido descendente del eje Z en el programa.

En el caso de los cambios de altura se deberá sumar a la carga el peso de las baldosas que forman el cambio de peldaño (área vertical o área de contrahuella).

Los valores de carga desglosados que se deben incluir en el modelo (Figura 37) son los correspondientes a cargas por elemento, de forma que, previamente, se requiere seleccionar los elementos para poder asignar las cargas con los datos de la tabla (Figura 38).

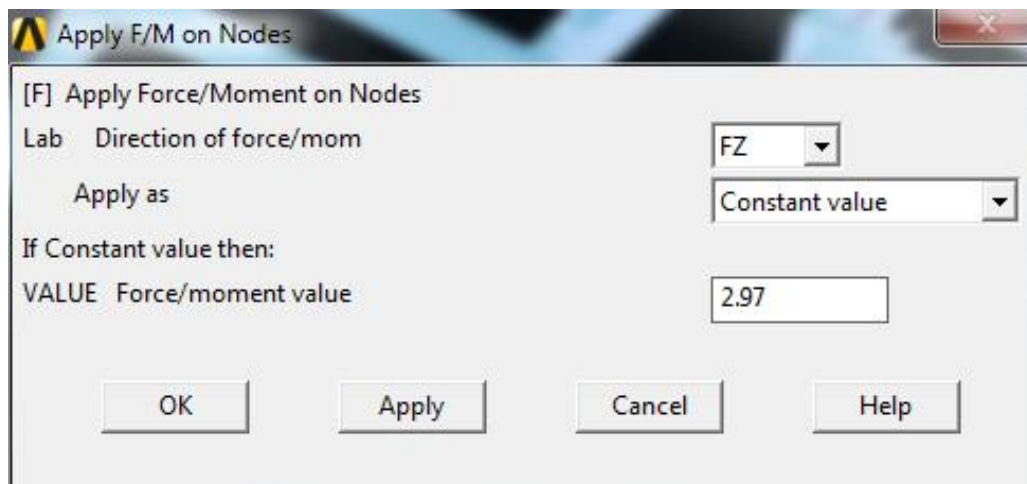


Figura 38 - Introducir valores de carga

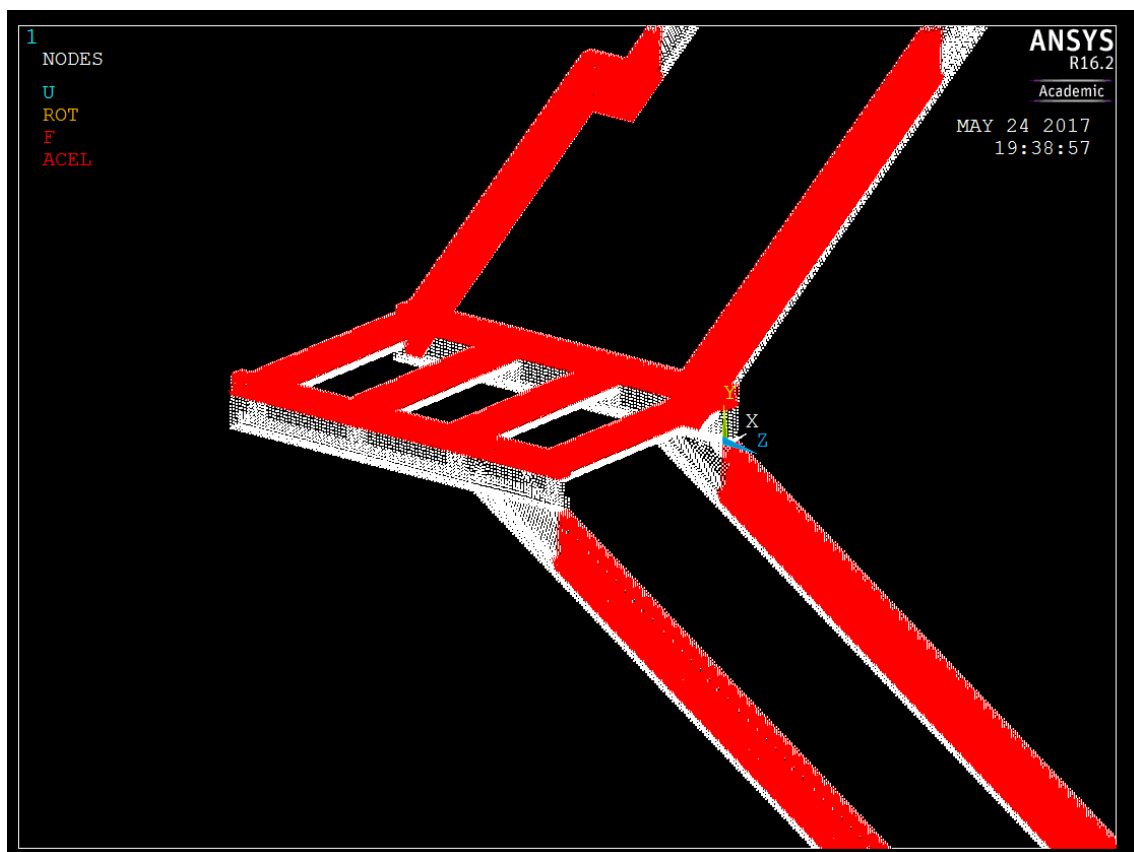


Figura 39 - Cargas aplicadas

Restricciones al movimiento

Si son fundamentales las cargas en el cálculo también lo son las restricciones al movimiento o los puntos de apoyo, estos determinarán en gran medida el comportamiento de la estructura.

En el origen, la previsión del cliente era anclar la estructura a los muros del edificio, a los pilares de la estructura que dará soporte al ascensor y a los forjados.

Se debe tener presente en todo momento que, este proyecto, es un proyecto de reforma y ello conlleva trabajar con una base de materiales antigua de la que no se disponen suficientes fichas técnicas como para conocer sus propiedades y características. En el caso de los forjados no existe mayor preocupación por ser un elemento estructural fiable para utilizarlo de base de anclaje. Es en los muros dónde se esconden las mayores incertidumbres por esta razón, se ha tomado la directriz de no tener en cuenta los anclajes a los muros por la imposibilidad de predecir su respuesta a las reacciones.

Esta consideración contempla un caso mucho más desfavorable que el real, pero en labores de ingeniería siempre que haya desconocimiento se debe suponer desde el lado de la seguridad.

Con esto claro se deben aplicar las restricciones al movimiento en el modelo.

Para aplicar condiciones de contorno se selecciona el tipo de elemento sobre el que se quiere imponer una restricción y se abre un desplegable en el que se permite escoger que movimiento se quiere anular, siendo las opciones flecha y giro en los tres ejes de movimiento (Figura 40).

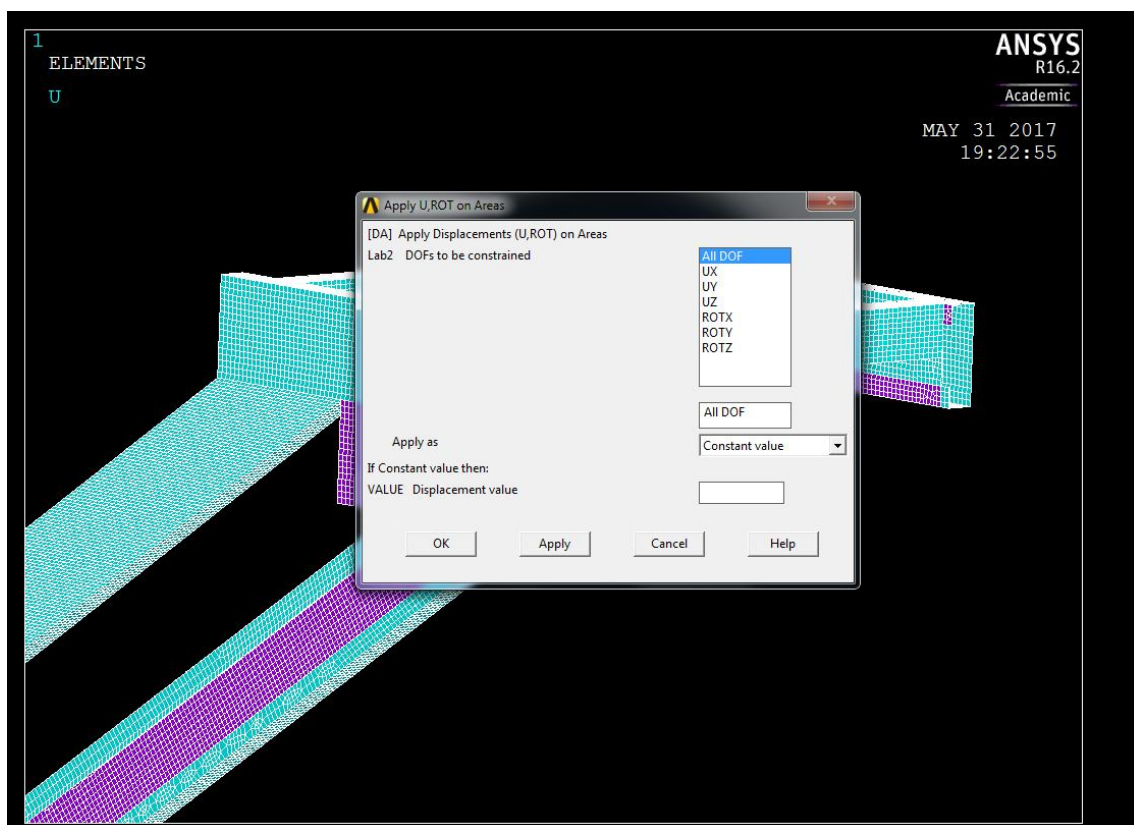


Figura 40 - Seleccionar movimientos a restringir

Una vez seleccionados, al aplicar, aparecerán en el modelo simbolizado.

Para el caso de los forjados se han restringido las líneas y áreas en contacto con ellos (Figura 41).

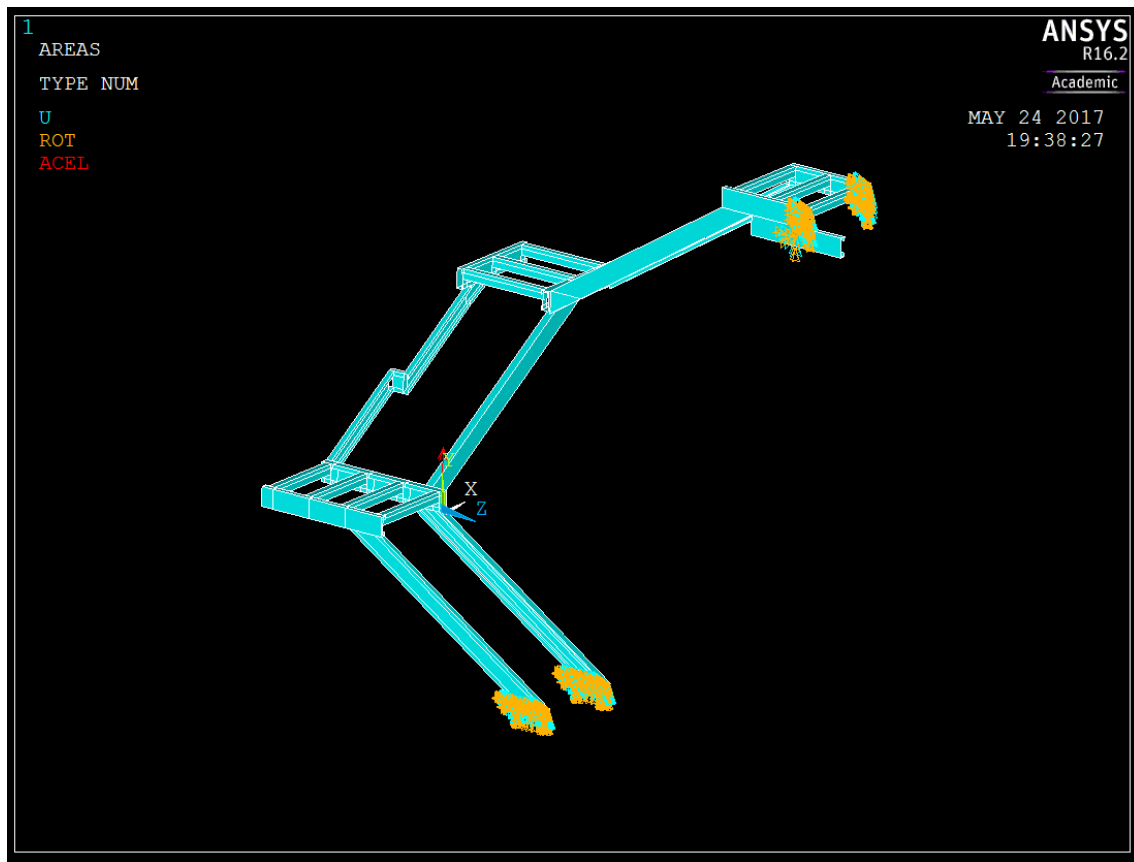


Figura 41 - Restricciones a forjado

La unión a los pilares de la subestructura para el ascensor se ha incluido como dos anclajes puntuales en dos elementos en las caras de la estructura en contacto (Figura 42).

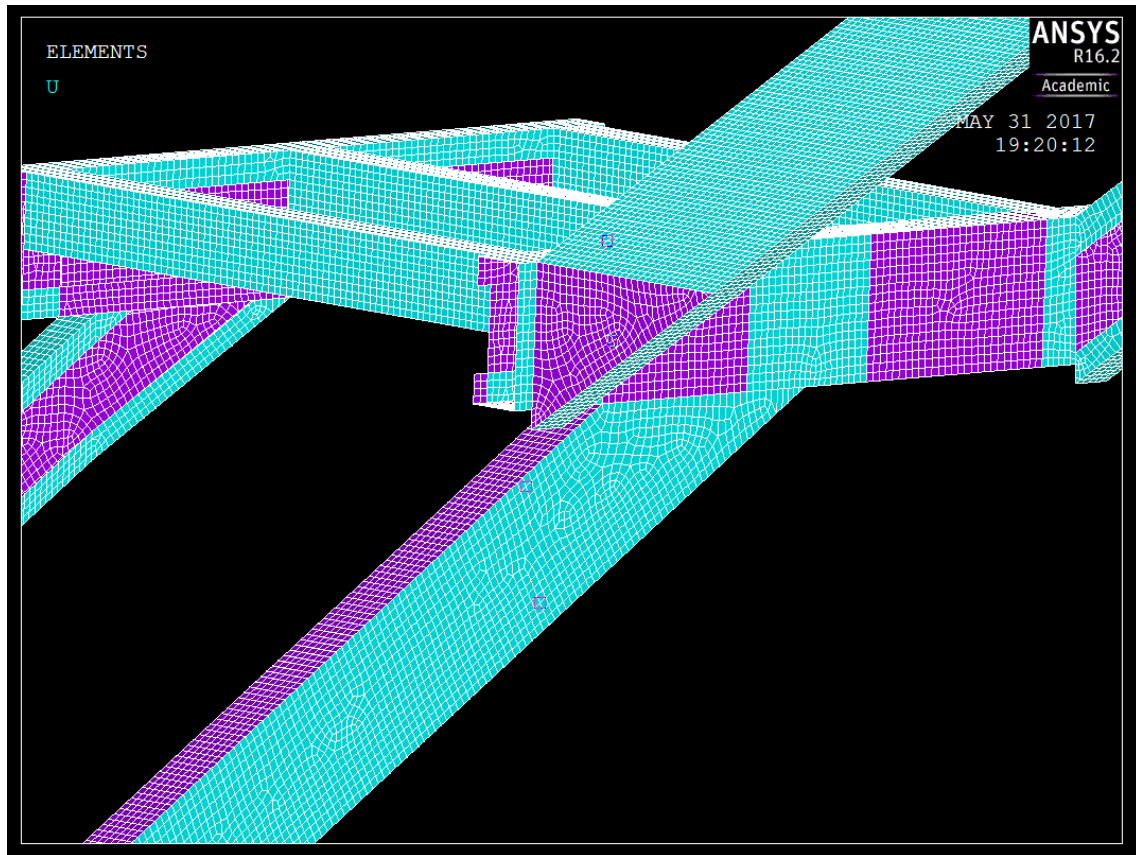


Figura 42 - Restricciones a subestructura para el ascensor

5. Solución

Ya con la geometría mallada, cargada y anclada, se puede lanzar el programa para que resuelva las ecuaciones (Figura 43).

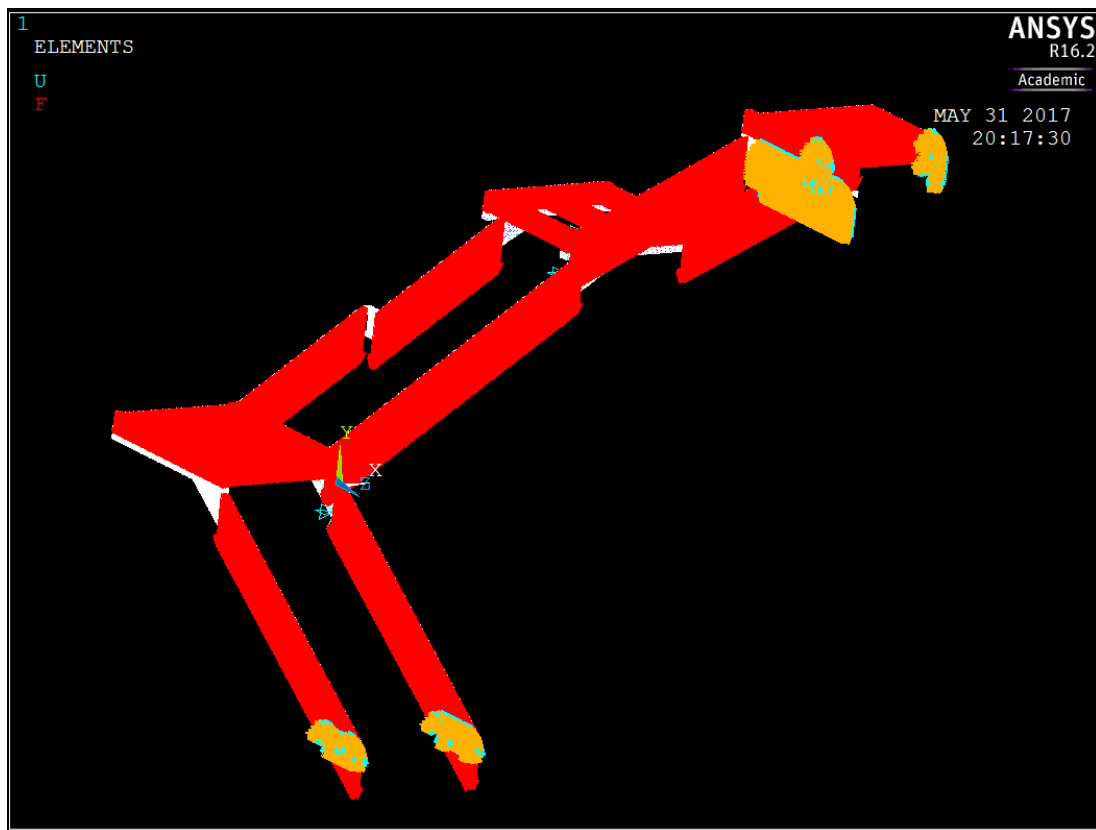


Figura 43 - Cargas y restricciones aplicadas

La resolución de las ecuaciones puede alargarse unos minutos (Figura 44). Una vez finalizado el cálculo quedará por escoger la visualización de los resultados deseada.

En este estudio se necesitan obtener las tensiones puntuales en la estructura y comprobar que estas no superan el límite de elasticidad del acero.

El criterio que se emplea para conocer estas tensiones es el determinado por la teoría de Von Mises. El valor de la tensión de Von Mises es el indicador más fiable en la teoría del fallo estructural.

Interesa, sabido esto, que ANSYS® muestre los resultados en función de la tensión de Von Mises, para ello, se plotean los resultados según los nodos, que es dónde hemos aplicado la fuerza, y en la ventana emergente se selecciona “Von Mises stress”.

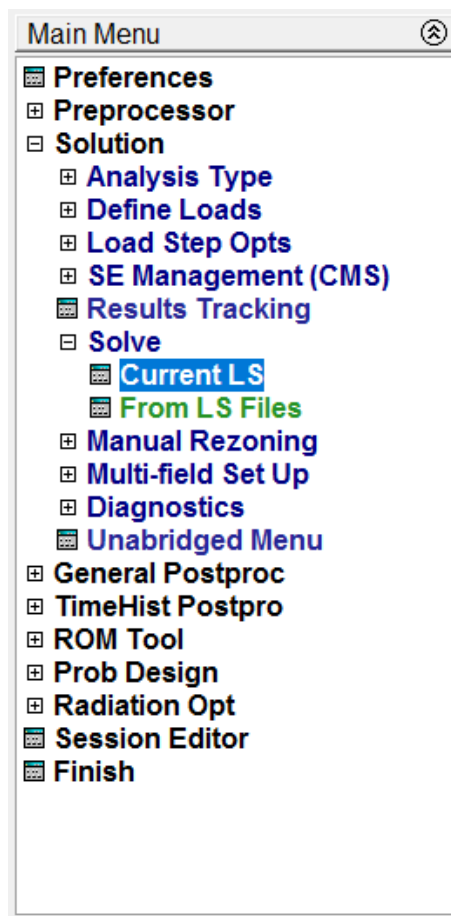


Figura 44 - Ejecutar solución

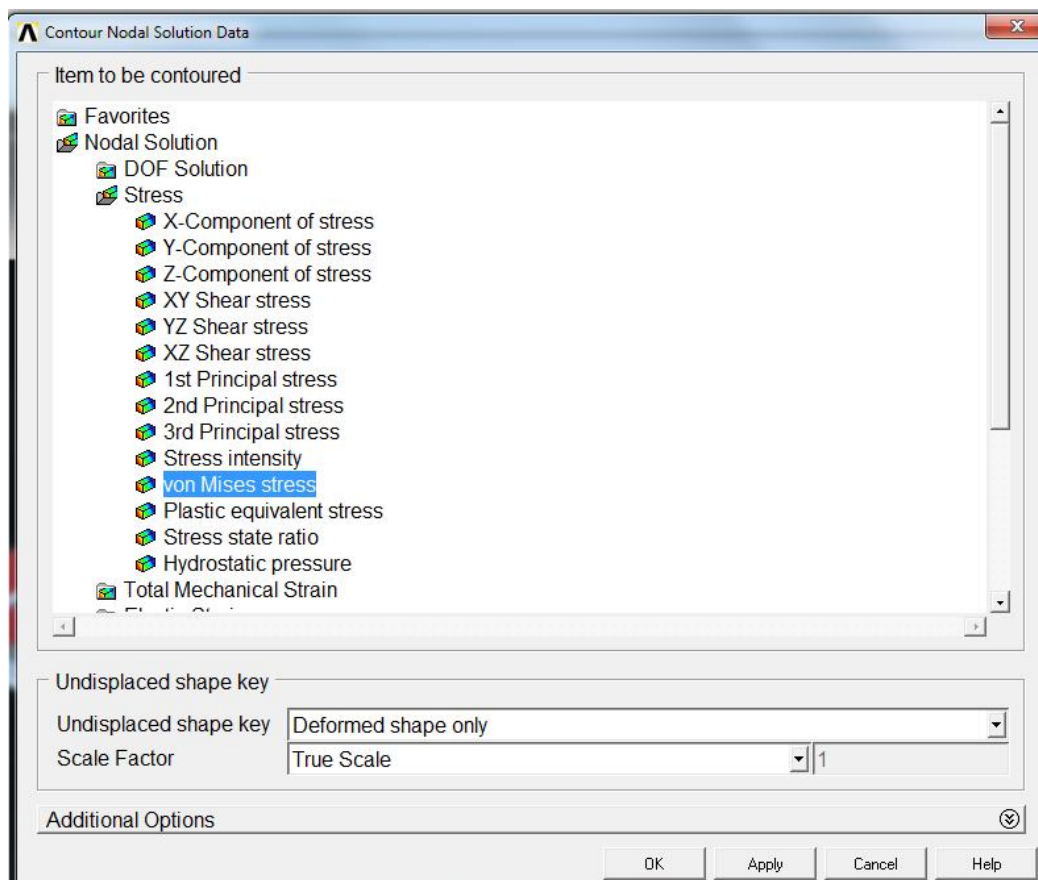


Figura 45 - Ventana de selección del parámetro de visualización

Devolviendo la estructura con curvas de color que indican los valores de la tensión escalados (Figura 46).

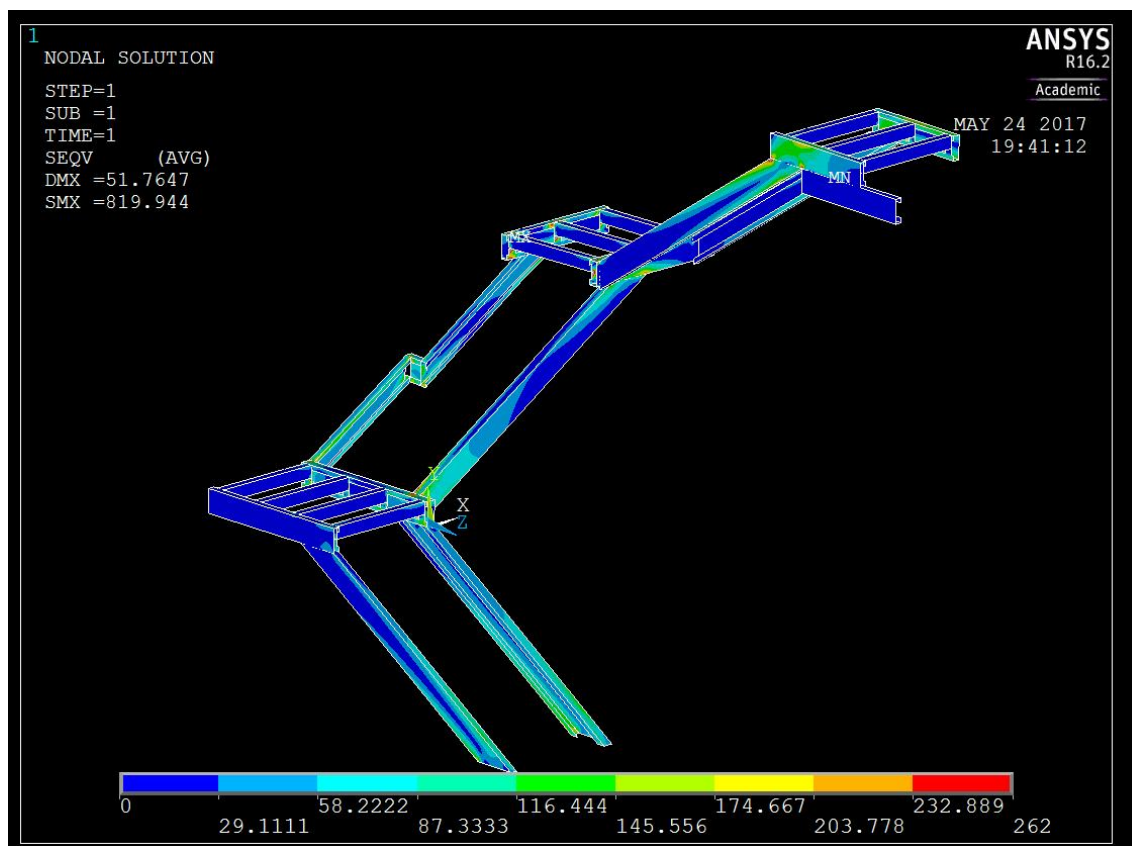


Figura 46 - Tensión de Von Mises

La escala ha sido acotada con valor mínimo “0” y valor máximo el admisible aplicando un coeficiente de seguridad.

Según el código técnico se debe considerar un coeficiente de seguridad de 1,05 para criterios de plastificación.

2.3.2 Efecto de las acciones

Para cada situación de dimensionado, los valores de cálculo del efecto de las acciones se obtendrán mediante las reglas de combinación indicadas en DB SE 4.2.

2.3.3 Coeficientes parciales de seguridad para determinar la resistencia

- 1 Para los coeficientes parciales para la resistencia se adoptarán, normalmente, los siguientes valores:
 - a) $\gamma_{M0} = 1,05$ coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material
 - b) $\gamma_{M1} = 1,05$ coeficiente parcial de seguridad relativo a los fenómenos de inestabilidad
 - c) $\gamma_{M2} = 1,25$ coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión
 - d) $\gamma_{M3} = 1,1$ coeficiente parcial para la resistencia al deslizamiento de uniones con tornillos pretensados en Estado Límite de Servicio.
 $\gamma_{M3} = 1,25$ coeficiente parcial para la resistencia al deslizamiento de uniones con tornillos pretensados en Estado Límite de Último.
 $\gamma_{M3} = 1,4$ coeficiente parcial para la resistencia al deslizamiento de uniones con tornillos pretensados y agujeros rasgados o con sobremedida.
- 2 Los coeficientes parciales para la resistencia frente a la fatiga están definidos en el Anejo C.

Figura 47 - Coeficientes de seguridad para el acero

$$\text{Tensión máxima admisible} = \frac{275}{1,05} = 261,9 \approx 262 \text{ MPa}$$

En los resultados se puede observar que el valor máximo de tensión es de 819,94 MPa, muy por encima del valor máximo admisible. Se pueden encontrar los puntos críticos fácilmente al ser aquellos que se representan de color gris al quedar fuera de la escala especificada (Figura 48).

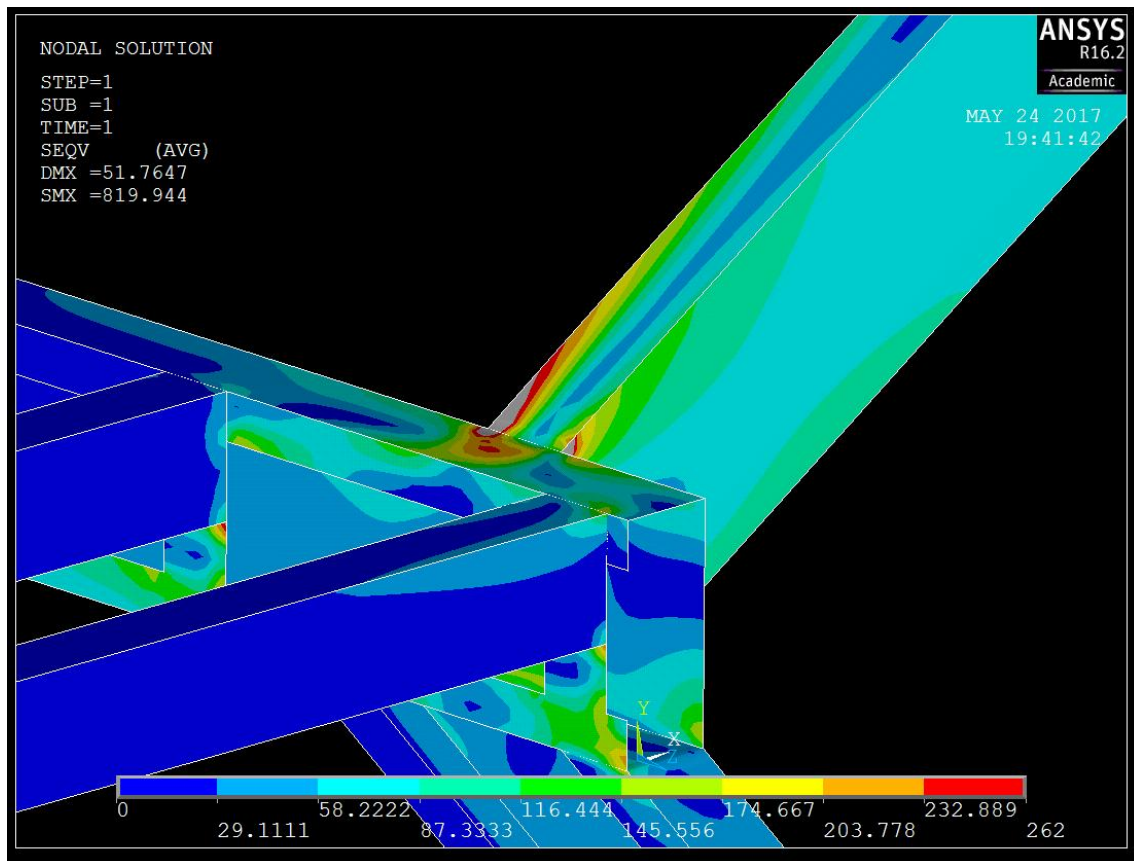


Figura 48 - Zoom en zona crítica

Estos resultados, con estas suposiciones de anclajes, invalidan el diseño.

Se podría concluir aquí con el estudio, sin embargo; lo óptimo sería ofrecer una alternativa que solventará los problemas en el diseño.

Dado que el modelo geométrico ha sido impuesto y modificarlo conllevaría un cambio global de todo el estudio conviene analizar las cargas y las restricciones incluidas en el cálculo.

Para dar con un diseño satisfactorio se hace imprescindible recopilar las suposiciones que se habían considerado.

- **Cargas:**

Lo incluido en este apartado ha sido contemplado acorde al código técnico de la edificación cuya autoridad es incuestionable por ser el marco legislativo vigente. El único punto supuesto en este capítulo fue el espesor de la baldosa que se instalará como recubrimiento, el no tener datos específicos del producto obliga a considerar el más desfavorable. No se puede alterar.

- **Restricciones al movimiento:**

Lo incluido en este apartado comprende los puntos de anclaje que sustentarán la estructura.

- Forjado: Las uniones a los forjados han sido consideradas y el cliente contaba con ellas.
- Pilares de la subestructura del ascensor: Las uniones a los pilares han sido consideradas y el cliente contaba con ellas.
- Muros del edificio: A pesar de que el cliente contaba con anclar a los muros, la antigüedad del edificio y la falta de especificaciones de su composición, convierten en arriesgada la inclusión de estos anclajes.
- Pilares del edificio: No contemplados por el cliente en un principio, los pilares, al igual que los forjados, son elementos estructurales muy fiables que están diseñados para soportar grandes cargas y no entrañan el riesgo de que su material base pueda acarrear problemas.

La opción más segura por la que se puede encaminar la solución es la de anclarse en el pilar estructural del edificio para crear un nuevo punto de apoyo seguro.

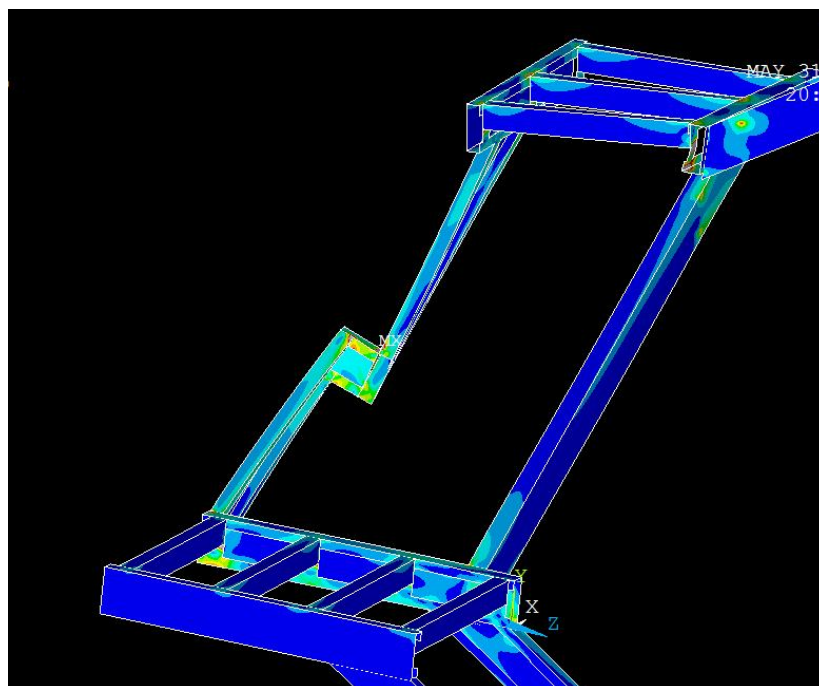


Figura 49 - Cambio de ancho del escalón

Cómo se ve en la geometría, la escalera tiene un cambio de ancho para salvar el pilar (Figura 49).

Se crean unas nuevas restricciones de movimientos que simulen los anclajes puntuales en esa superficie y se vuelve a ejecutar la solución (Figura 50).

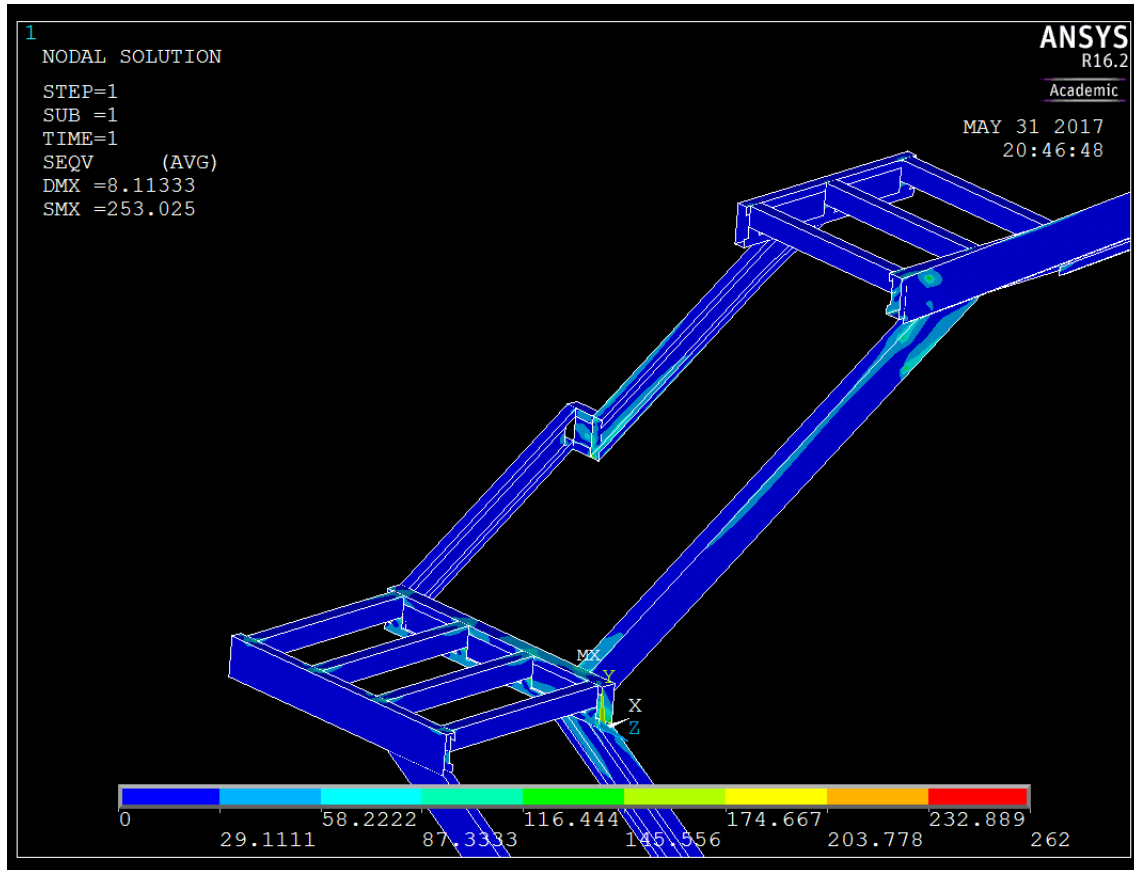


Figura 50 - Tensión de Von Mises con apoyo en pilar (I)

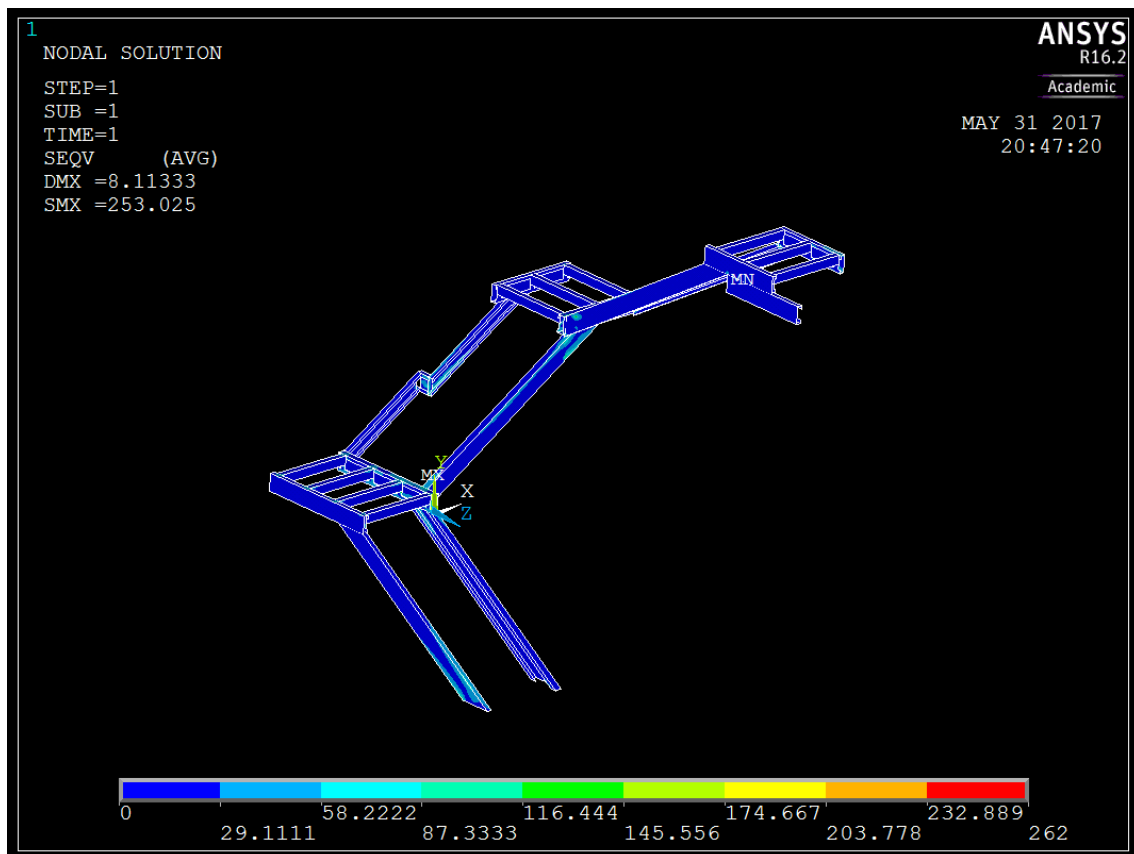


Figura 51 - Tensión de Von Mises con apoyo en pilar (II)

Se observa ahora que la estructura se ha relajado y los valores máximos quedan dentro de los márgenes admisibles (Figura 51).

Tensión máxima del problema = 253 MPa < 262 MPa = Tensión máxima admisible

Flecha máxima = 8,11 mm

Con esta sencilla modificación se puede finalizar con un resultado satisfactorio.

Es útil conocer la carga que va a transmitir la estructura a los anclajes, ANSYS® permite obtener un listado de las cargas por nodo, seleccionando los nodos donde se ubicarán los puntos de fijación (Figura 52 - Extracto del listado de cargas por nodoFigura 52)

Nodo	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]
101320	32,264	644,95	2029,8
101509	-623,17	456,61	-1209,8

Figura 52 - Extracto del listado de cargas por nodo

6. Conclusión

Con el estudio realizado, y obtenidos los resultados críticos, se puede concluir con que la geometría para escalera propuesta por el cliente es válida siempre y cuando se tengan en cuenta los siguientes comentarios.

- La estructura deberá estar constituida por acero S275.
- El recubrimiento de la estructura será de baldosa de material cerámico con espesor máximo de 0,07 mm.
- La estructura deberá estar fijada a los forjados con unos anclajes válidos para soportar las cargas de reacción.
- La estructura deberá estar fijada a los pilares de la subestructura del ascensor con unos anclajes válidos para soportar las cargas de reacción.
- La estructura deberá estar fijada al pilar de construcción del edificio con unos anclajes válidos para soportar las cargas de reacción.
- La aptitud de la estructura está avalada por este estudio sí y solo sí está destinada a uso residencial sin exposición a viento o nieve, cualquier otro uso invalidaría el cálculo.

Este informe recoge los cálculos que dan validez al tramo de escalera perteneciente a la planta baja. El resto de los tramos son réplicas del calculado e independientes entre sí, este hecho no hace necesario repetir el estudio para los distintos tramos debido a que se obtendrán los mismos resultados satisfactorios.

7. Presupuesto

Estimar una valoración económica en un trabajo de ingeniería es una tarea complicada, establecer un precio justo a un producto o servicio es objeto de estudio en otras materias.

La pregunta debería ser, ¿Cuál es el salario que debería cobrar el ingeniero que ha realizado el estudio en base a su experiencia, prestigio y situación salarial nacional?

En el caso de este proyecto, el estudio ha sido realizado por un ingeniero, con experiencia laboral de poco más de un año en una empresa de estructuras y con la titulación de grado recién acabada.

Atendiendo, además, a las tablas salariales de los convenios dónde se podría enmarcar este trabajo, el sueldo mensual neto que se puede considerar apropiado sería de 1.500 €. A esto habría que añadir la incertidumbre que da un trabajo de “freelance” como este, que se debe reflejar en el coste duplicando su valor.

Esto supone, a razón de 20 días laborables de jornadas de 8 horas, un precio por hora de ingeniería de 18,6 €, aproximadamente, 20 €/h.

A eso, habría que añadir el coste de amortización del software empleado.

El coste de la licencia anual de ANSYS® produce una amortización anual de 15.000 €. En horas se traduce en torno a 7,5 €/h.

Por tanto...

$$\text{Coste por hora de ingeniería} = 20 + 7,5 = 27,5 \frac{\text{€}}{\text{h}}$$

En la realización de este proyecto se han invertido un total de 80 horas.

$$\text{Valoración total del proyecto} = 2.200 \text{ €}$$

8. Futuros proyectos

Con los cálculos justificativos que respaldan el diseño no está terminada la reforma del edificio. Este estudio, tan sólo recoge la viabilidad del diseño geométrico propuesto por el cliente para el código técnico y sus imposiciones con los materiales previstos.

Para garantizar la completa satisfacción de la propiedad se deberán realizar distintos proyectos que complementen este estudio.

Estudio de anclajes

El alcance de este informe no cubre la especificación de los anclajes a usar, simplemente indica la cantidad de puntos de suportación necesarios, y su localización, claves para garantizar la aptitud al servicio de la estructura. Sin embargo, es fundamental un estudio que, en base a las cargas resultantes de estos cálculos, y en consideración con el material base de los puntos de apoyo; halle el anclaje óptimo para cada caso y certifique su comportamiento.

Estudio para el ascensor y su subestructura portante

Esta obra de reforma tiene la misión de dotar a un edificio antiguo de Madrid un ascensor que conecte las distintas plantas con el nivel de la calle. Es imprescindible un estudio que avale su seguridad según la normativa vigente.

Además, la subestructura que se encargará de soportarlo también dará apoyo a la escalera, de forma que también deberá partir con los resultados de este informe como punto de partida.

Fabricación

Se deberán fabricar las piezas con la geometría estudiada cuidando que las soldaduras sean fiables y no pongan en riesgo las propiedades del material para así no desviar el comportamiento real con los cálculos teóricos ofrecidos en este informe. También deberá contar con un tratamiento superficial adecuado para la corrosividad del ambiente.

Instalación y mantenimiento

Se deberá realizar el montaje siguiendo las indicaciones de los fabricantes del producto y se deberá, también, seguir un mantenimiento que asegure la durabilidad de la obra.

9. Bibliografía

- (1) CAD / Computer-Aided Design / Diseño asistido por ordenador

www.plm.automation.siemens.com/es_es/plm/cad.shtml.

Fecha de consulta: Abril de 2017

- (2) CAE / Computer-Aided Engineering

www.plm.automation.siemens.com/es_es/plm/cae.shtml.

Fecha de consulta: Abril de 2017

- (3) Código Técnico de la edificación

<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte/menu-presentacion>.

Fecha de consulta: Abril de 2017

- (4) Kocks, U. (2000). *Texture and Anisotropy: Preferred Orientations in Polycrystals and their effect on Materials Properties*. Cambridge. ISBN 9780521794206.

Fecha de consulta: abril de 2017